

UB Braunschweig 84  
  
3465-485-9

**BAULICHE MAßNAHMEN ZUR NACHTRÄGLICHEN ERTÜCHTIGUNG  
VON MAUERWERK AUS VORHANDENER BAUSUBSTANZ ZUR  
ERHÖHUNG IHRER BIEGETRAGFÄHIGKEIT**

**1. Forschungsabschnitt**

**Abschlußbericht**

vorgelegt von

**Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Karl Kordina**

**Dipl.-Ing. Erhard Gunkler**

**Juni 1989**

Das Forschungsvorhaben wurde gefördert vom Bundesminister für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau  
Akenzeichen: B I 7-810788-7



## INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Blatt</u>
<u>1.0 Einleitung und Aufgabenstellung</u>	1
<u>2.0 Literatúrauswertung "Bewehrtes Mauerwerk"</u>	
2.1 Nachträgliche Bewehrung von Mauerwerk	3
2.2 Anmerkungen zur Berücksichtigung eines vorbeu- genden Korrosionsschutzes	3
<u>3.0 Zustand vorhandener Bausubstanz im Hinblick auf die     Aufstellung eines Bewertungssystems für ausführungs-     freundliche Versärkungsmaßnahmen</u>	
3.1 Bisherige Konstruktionspraxis	5
3.2 Zustand vorhandener Bausubstanz	6
3.3 Rückschlüsse für die Aufstellung eines Beurteilungssystems	9
<u>4.0 Erhebungsbögen für die Beurteilung der Ertüchtigungs-     würdigkeit von Umfassungsbauteilen</u>	
4.1 Bestandsanalyse	10
4.2 Bewertungssystem für die Verstärkungswürdigkeit vorhandener Kellerumfassungsbauteile	11
<u>5.0 Trümmerschutz der raumbegrenzenden Bauteile von     Kellerräumen</u>	
5.1 Schutzgrad gemauerter Wände	13
5.2 Schutzgrad von Massivdecken	15
<u>6.0 Konstruktive Maßnahmen zur Erhöhung des Schutzgrades     bei mechanischer Beanspruchung von Schutzraumbauteilen</u>	
6.1 Allgemeines	20
6.2 Verstärkungsmaßnahmen an gemauerten Wänden	21
6.2.1 Örtliche Wandverstärkung durch Pfeilervorlagen	21
6.2.2 Flächige Wandverstärkung durch aufgeklebte Stahl- und Kunststoffflaschen	24
6.2.3 Unbewehrte Wandbeschichtungen aus Spritzmörtel	26
6.2.4 Faserbewehrte Wandbeschichtungen	28
6.2.5 Betonstahlbewehrte Wandbeschichtungen	31
6.3 Verstärkungsmaßnahmen von Stahlbetondecken	34

	<u>Blatt</u>
6.4 Schubbemessung gemauerter Schutzraumwände und Besonderheiten bei der Konzeption schubfester Bauteilanschlüsse	35
6.4.1 Unbewehrtes Mauerwerk	35
6.4.2 Schubbeanspruchung von mit Betonstahlmatten und Stahllaschen nachträglich bewehrtem Mauerwerk	38
6.4.3 Besonderheiten bei der Konzeption schubfester Bauteilanschlüsse	41
6.5 Berücksichtigung von Öffnungen	42
<u>7.0 Haftversuche zur Ermittlung der Verbundfestigkeit zwischen Spritzmörtel und Mauerwerk</u>	
7.1 Allgemeines	47
7.2 Haftzugfestigkeitsprüfungen kunststoffmodifizierter Mörtelbeschichtungen auf Mauerwerk	48
7.3 Haftscherfestigkeitsprüfungen kunststoffmodifizierter Mörtelbeschichtungen auf Mauerwerk	53
<u>8.0 Beispielhafte Bewertung von Verstärkungsmaßnahmen für einen charakteristischen Einzelfall</u>	54
<u>9.0 Zusammenfassung</u>	59
Literaturverzeichnis	62
Anhang:	
Bilder ab Bild 09	

Übersicht der Tabellen und Bilder des Textteils des Abschlußberichtes

<u>Tabelle</u>	<u>Blatt</u>
01: Flächen und Volumina von Kellerräumen vor und nach der Durchführung von Baumaßnahmen auf der Grundlage konventioneller Systemvorschläge gemäß /5/	7
02: Rechnerisch aufnehmbare Trümmerlasten einer Stahlbetondecke in Abhängigkeit unterschiedlicher Sicherheitsbetrachtungen	19
03: Mechanische Kennwerte für den Schubnachweis senkrecht zu ihrer Ebene belasteter Mauerwerkswände	37
04: Grenzen der Grundwerte der Schubspannung $\tau_{011}$ in MN/m <sup>2</sup> von bewehrtem Mauerwerk unter Gebrauchslast	39
05: Vergleich horizontaler Traglasten verstärkter und unverstärkter dreiseitig gelagerter Wände bei Variation des Seitenverhältnisses $\varepsilon = L/h$	45
06: Mechanische Kennwerte der Prüfkörper zur Ermittlung der Haftzugfestigkeiten	48
07: Versuchskörper zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit	49
08: Ergebnisse von Haftzugprüfungen	51
09: Beschreibung der Versuchskörper zur Ermittlung der Haftscherfestigkeit	53
10: Beurteilung ausführungsfreundlicher Ertüchtigungsmaßnahmen zur Verstärkung von Schutzraumumfassungsbauteilen	56

<u>Bild</u>		<u>Blatt</u>
01:	Zur Korrosion der Bewehrung im Mauerwerk	4
02:	Interaktionsdiagramme der Bruchschnittgrößen von Mauerwerksquerschnitten	13
03:	Traglastdiagramme einer gelenkig gelagerten unbewehrten Mauerwerkswand	14
04:	Traglastkurven kreuzweise biegebeanspruchter Wände	15
05:	Vereinfachte Bruchlinien-Figuren unverstärkter Schutzraumwände mit Türöffnungen	43
06:	Vereinfachte Bruchlinienfigur einer durch eine Pfeilervorlage verstärkten Schutzraumwand mit Türöffnungen	44
07:	Randeinfaßbewehrung betonstahlbewehrter Spritzmörtelschalen in Kellerwänden mit Notausstiegsöffnungen	47
08:	Bohrbild der Kernbohrungen für Haftzugprüfungen	50

## 1.0 Einleitung und Aufgabenstellung

Die in den Jahren 1983 bis 1988 im Hinblick auf die Verwendung von Mauerwerk im Schutzraumbau durchgeführten Untersuchungen an Wänden in vorhandener Bausubstanz sowie an nachträglich mit den Eigenschaften alter Bausubstanz errichteten Wänden ergaben, daß diese auch bei Vorhandensein niedrigfester Mörtel (Druckfestigkeit  $0,4 \text{ N/mm}^2$ ) eine größere Biegetragfähigkeit besitzen, als ursprünglich bekannt war /1, 2/: Ohne Berücksichtigung der Biegezugfestigkeit des Mauerwerks konnten einachsige lastabtragende, 24 cm dicke Wände in Kellern üblicher Höhen - bei vertikalen Auflasten bis ca.  $200 \text{ kN/m}$  - im Bruchzustand einer horizontalen Druckbeanspruchung bis zu 0,2 bar widerstehen.

Ausgehend von der Annahme einer freilaufenden Welle mit 0,15 bar Spitzenüberdruck und vollständiger Überlagerung der reflektierten Welle - unter Hinzunahme eines Sicherheitszuschlages gegen Bruch von 20 % - wird mindestens eine Belastbarkeit gegen horizontalen Druck von 0,36 bar gefordert. Dynamische Einflüsse werden nicht zusätzlich in Ansatz gebracht.

Die Verwendung von Mauerwerk in Schutzräumen setzt somit i.a. Maßnahmen zur Steigerung der Biegetragfähigkeit voraus, zumal in Wohngebäuden mit bis zu fünf Vollgeschossen nur vertikale Auflasten aus Eigengewicht von 180 bis  $210 \text{ kN/m}$  zur Verfügung stehen.

Die Auswahl und Abschätzung der Wirkung derartiger tragfähigkeitssteigernder Ertüchtigungsmaßnahmen ist das Ziel eines Forschungsvorhabens, über dessen ersten Forschungsabschnitt nachfolgend berichtet wird.

Insgesamt sollen innerhalb dieses Vorhabens folgende Leistungen erbracht werden:

1. Literaturstudium zum Thema "Bewehrtes Mauerwerk" unter Berücksichtigung der Möglichkeit, die Bewehrung nachträglich anzubringen, sowie des vorbeugenden Korrosionsschutzes
2. Entwicklung eines Bewertungssystems für ausführungsfreundliche Verstärkungsmaßnahmen von geeignet erscheinenden Kellerräumen in vorhandener Bausubstanz



3. Durchführung von Haftversuchen zur Ermittlung der Verbundeigenschaften zwischen tragfähigkeitssteigernden Spritzmörtelschalen und Mauerwerk
4. Experimentelle Überprüfung der Biegetragfähigkeit von Mauerwerk nach nachträglich flächenhafter Verstärkung durch verschiedenartige bewehrte oder unbewehrte Spritzputze
5. Herstellen und Prüfen von RILEM-Nebenversuchskörpern zur Bestimmung der Norm-Kennwerte für das verwendete Mauerwerk
6. Rechnerische Abschätzung der tragfähigkeitssteigernden Wirkung von nachträglich errichteten Pfeilervorlagen
7. Beurteilung von Maßnahmen zur Schubsicherung und zur Verstärkung von Decken durch ingenieurgemäße, experimentell abgesicherte Berechnungen
8. Ausarbeitung eines allgemein verwertbaren, ausführungsfreundlichen Verstärkungskonzepts

Die Ausarbeitung des vorstehend genannten Verstärkungskonzepts setzt naturgemäß eine vergleichende rechnerische Untersuchung der Wirksamkeit, des Aufwandes und der Wirtschaftlichkeit mehrerer möglicher bautechnischer Maßnahmen voraus, die bereits in diesem Bericht ausführlich dargestellt sind. Deshalb soll der Schwerpunkt im folgenden zweiten Forschungsabschnitt auf der experimentellen Bestätigung der hier vorläufig getroffenen baustofflichen und konstruktiven Annahmen zur Bemessung von Ertüchtigungsmaßnahmen für auf Horizontaldruck beanspruchtes Mauerwerk liegen.

## 2.0 Literatúrauswertung zum Thema "Bewehrtes Mauerwerk"

### 2.1 Nachträgliche Bewehrung von Mauerwerk

Die Fachliteratur enthält nur wenige Beiträge über die nachträgliche Bewehrung vorhandener Mauerwerkswände zur Erhöhung ihrer Tragfähigkeit. Diese Arbeiten /30;...;34/ beziehen sich hauptsächlich auf die Instandsetzung und Verstärkung seismisch beanspruchten Mauerwerks. Im Gegensatz zur scheiben-plattenartigen Beanspruchung von gemauerten Schutzraumumfassungswänden sind solche Mauerwerkswände aus Erdbebenbeanspruchung in ihrer Ebene durch Vertikal- und Horizontalkräfte belastet. Diesen Literaturstellen läßt sich jedoch entnehmen, daß eine Ertüchtigung von Ziegelmauerwerk mit ein- oder beidseitig aufgetragenen bewehrten Putzschichten bei zyklischer Belastung zu einer Traglasterhöhung um den Faktor 3 bis 7,5 führt /34/.

### 2.2 Anmerkungen zum Korrosionsschutz

In der einschlägigen Literatur wird übereinstimmend von zum Teil erheblichen Korrosionserscheinungen an Betonstählen in bewehrtem Mauerwerk berichtet /35...37/. Die Alkalität, die die Bewehrung im Beton langfristig schützt, geht im Mauermörtel, selbst wenn es sich um hochwertigen Zementmörtel handelt, infolge unvermeidbarer Gasdurchlässigkeit schnell verloren /26/. Zudem ist bei im Mauermörtel der Lagerfugen verlegter Bewehrung die Mörtel-/Beton-Überdeckung so gering, daß auch bei höheren Diffusionswiderständen, wie ihn z.B. normale Betone besitzen, die Karbonatisierungsfront in kurzer Zeit die Stahloberfläche erreicht. Außerdem tragen Mauersteine in den meisten Fällen nicht zum Korrosionsschutz bei /26/. Die zur Korrosion der Bewehrung im Mauerwerk oder Beton führenden Randbedingungen sind bekannt und im Bild 01 erläutert.

Die Bilder 09 bis 29 sind im Anhang zu diesem Bericht enthalten. Hinweise auf diese Bilder sind nicht unterstrichen.

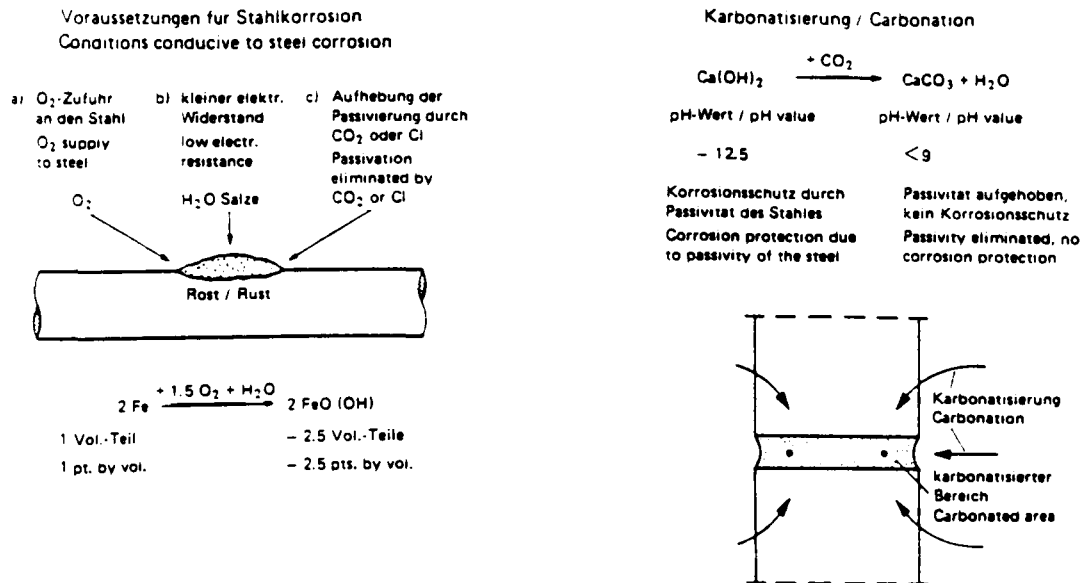


Bild 01: Zur Korrosion der Bewehrung im Mauerwerk /36/

Auch bei nachträglich angebrachten betonstahlbewehrten Putz- oder Spritzmörtel-Vorsatzschalen auf Außenwänden sind daher normalerweise Maßnahmen des vorbeugenden Korrosionsschutzes vorzusehen. Bei Innenwänden zwischen zwei trockenen Räumen ist dies hingegen im Regelfall nicht notwendig.

Falls günstige Bedingungen hinsichtlich Umwelteinflüssen sowie dichter Beton oder Mörtel für bewehrte Vorsatzschalen vorliegen und die Mindestbetondeckung und deren Sicherstellung durch Abstandshalter beachtet werden, bedarf die Bewehrung keines zusätzlichen Korrosionsschutzes.

In Lagerfugen verlegte Betonstähle mit normaler Feuerverzinkung bieten nur über begrenzte Zeit den gewünschten Korrosionsschutz /35; 36/. Ob dies gleichermaßen auf eine verzinkte Bewehrung in Spritzmörtelvorsatzschalen zutrifft, ist nicht bekannt. Alternativ könnten kunststoffbeschichtete, mit Korrosionsschutzanstrichen versehene Bewehrungen oder solche aus Edelstahl (Ripanox-Betonstahlmatten) zur Anwendung kommen. Durch eine sorgfältige Kalkulation wäre zu entscheiden, ob eine dickere

Vorsatzschale mit entsprechend dickerer Überdeckung der Bewehrung kostengünstiger ist als die vorstehend aufgeführten Korrosionsschutzmaßnahmen.

Die Datenbank des Informationszentrums RAUM und BAU enthält keine weiteren sachdienlichen Literaturhinweise.

### 3.0 Zustand vorhandener Bausubstanz im Hinblick auf die Aufstellung eines Bewertungssystems für ausführungsfreundliche Verstärkungsmaßnahmen

#### 3.1 Bisherige Konstruktionspraxis

Vorschläge für die nachträgliche Schaffung von Schutzplätzen in vorhandenen Gebäuden gehen davon aus, daß die Umfassungsbauteile von Hausschutzräumen aus Stahlbeton bestehen sollen /5/. Sie nutzen daher die Tragwirkung bereits vorhandener, nicht aus Stahlbeton bestehender Umfassungsbauteile von Kellerräumen nicht aus.

Die Anlage 1 enthält einige aus /5/ entnommene konventionelle Systemvorschläge für den nachträglichen Ausbau von Hausschutzräumen. Sie sind in bauverfahrenstechnischer Hinsicht sehr aufwendig und entsprechend teuer.

Ausgehend von dem in Abschnitt 8 beschriebenen Kellerraum wurden die Kosten für die vorgenannten Konstruktionsvorschläge analysiert und je m<sup>2</sup> unausgebauter Kellerraum-Grundfläche ermittelt. Danach ergibt sich folgende Kostenübersicht:

#### Systemvorschlag 1:

Ortbeton-Stahlbeton - gleichzeitiges Herstellen von Wänden und Decke  
Baukosten ca. 900 DM/m<sup>2</sup>

#### Systemvorschlag 2:

Ortbeton-Stahlbeton - Hubverfahren für die Decke  
Baukosten ca. 1.050 DM/m<sup>2</sup>

#### Systemvorschlag 3:

Ortbeton-Stahlbeton - getrennte Herstellung von Wänden und Decke  
Baukosten ca. 850 DM/m<sup>2</sup>

#### Systemvorschlag 4:

Ortbeton-Stahlbeton - Wände in Ortbeton, Decke in Spritzbeton  
Baukosten ca. 920 DM/m<sup>2</sup>

### 3.2 Zustand vorhandener Bausubstanz

Grundlage für die folgenden Ausführungen ist die im Jahre 1978 durchgeführte zivilschutztaktische Untersuchung vorhandener Bausubstanz in Straubing, welche unter der Bezeichnung "Modell Straubing" veröffentlicht worden ist /5/.

Den darin enthaltenen "A-Tabellen" ist zu entnehmen, daß von den dort untersuchten Gebäuden

20 % vor 1850,  
20 % bis Ende 1918,  
17 % bis 1945 und  
43 % nach 1949

errichtet worden sind. Nach dem 2. Weltkrieg waren nur wenige Baustoffe - und diese von minderer Qualität - vorhanden. Daher ist davon auszugehen, daß im Zeitraum von 1945 bis 1949 erstellte Gebäude sich hinsichtlich ihrer Materialbeschaffenheit in einem verhältnismäßig schlechten Zustand befinden. Hingegen sind etwa ab 1950 verwendete Baustoffe aufgrund der seit diesem Zeitpunkt verstärkt einsetzenden Normungstätigkeit hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften besser quantifizierbar. Insofern steigt auch der zivilschutztechnische Wert der seit 1949 errichteten Gebäude mit zunehmendem Erstellungsjahr.

Hinsichtlich der Bauweise dominierte der Mauerwerksbau mit ca. 94 % aller erfaßten Gebäude. Die Decken- und Wandkonstruktionen waren überwiegend massiv. Die Gebäude waren zu

42 % vollunterkellert,  
33 % teilunterkellert und  
25 % nicht unterkellert.

Die festgestellten lichten Kellerhöhen lagen

bei 6 % unter 1,95 m,  
bei 69 % zwischen 1,95 und 2,24 m  
bei 19 % zwischen 2,25 und 2,50 m und  
bei 7 % bei mehr als 2,50 m.

In der Erhebung wird davon ausgegangen, daß nach einer erforderlichen Verstärkung die verbliebene lichte Höhe des Schutzraumes > 1,85 m betragen soll. Nach /5/ wäre bei 45 % aller untersuchten Kellerräume die Sohle abzusenken, um die vorhandenen Örtlichkeiten für die Errichtung von

Schutzraumplätzen umrüsten zu können. Dies gilt im besonderen für Kellerräume mit Hohlkörperdecken, da hier im Regelfall nur 5 cm der Deckendicke bezüglich des Brand- und Strahlenschutzes angerechnet werden können und somit Maßnahmen zur Erhöhung der Deckendicke unter Inkaufnahme einer Reduzierung der lichten Höhe des Kellerraumes erforderlich werden.

In der nachfolgend aufgeführten Tabelle 01 sind die Flächen und Volumina für den Schutzraumbau geeignet erscheinender Kellerräume sowie die Anzahl hierin unterzubringender Schutzplätze aufgeführt, welche sich nach Durchführung der in /5/ beschriebenen konventionellen Baumaßnahmen konstruktionsbedingt verringert. Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, können bei Kellerräumen mit 10 bis 20 Schutzplätzen durch den nachträglichen Ausbau gemäß konventioneller Systemvorschläge bis zu 5 Schutzplätze verloren gehen; daher sind u.U. solche Konstruktionsvorschläge zu bevorzugen, die nur zu einer geringen Verminderung der Raumabmessungen durch den Ausbau führen.

Kellerraum- Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Schutz- plätze [Pers.]	Anteil vor dem Ausbau [%]	Anteil nach dem Ausbau [%]	Kellerraum- Volumen [m <sup>3</sup> ]	Schutz- plätze [Pers.]	Anteil vor dem Ausbau [%]	Anteil nach dem Ausbau [%]
10	15	1,52	7,9	< 20	> 12	1,32	17,43
10 - 12	19	6,4	16,99	20 - 25	16	6,18	22,57
12 - 14	23	15,07	15,59	25 - 30	20	19,26	14,34
14 - 16	26	15,59	11,99	30 - 35	25	15,59	9,63
16 - 18	30	11,32	9,85	35 - 40	28	10,66	6,76
18 - 20	33	9,26	6,18	40 - 45	32	9,26	4,71
20 - 25	41	14,93	11,03	45 - 50	35	5,96	4,19
25 - 30	50	7,21	5,59	50 - 100	71	20,51	11,69

Tabelle 01: Flächen und Volumina von Kellerräumen vor und nach Durchführung von Baumaßnahmen auf der Grundlage konventioneller Systemvorschläge gemäß /5/

Die erfaßten Kellerräume wiesen folgende Konstruktionsmerkmale auf:

Die Deckenkonstruktionen waren im Mittel zwischen 16 und 18 cm dick und bestanden zu

- 33 % aus Stahlbeton,
- 30 % aus Hohlkörperelementen und
- 16 % aus Gewölbekappen (Kappendecken)

Nur 0,22 % aller untersuchten Deckenkonstruktionen waren trümmersicher ausgebildet.

Als Baustoff für die Kelleraußenwände, deren Dicken überwiegend zwischen 30 und 50 cm betrugen, wurden zu

- 62 % Betonsteine (Wanddicke 30 bis 35 cm) und
- 32 % Vollziegel und Kalksandsteine

verwendet.

Der hohe Betonstein-Anteil ist regional bedingt; in anderen Bundesländern werden überwiegend Vollziegel oder Kalksandsteine verwendet.

Die Kellerinnenwände bestanden zu

- 87 % aus Ziegeln oder Kalksandsteinen,
- 7 % aus Betonsteinen,
- 5 % aus Stahlbeton und
- 1 % aus Bruchsteinmauerwerk.

Die Innenwanddicken betrugen im Mittel 24 cm.

Hinsichtlich der Lage der Kellerräume befanden sich 26 % vollständig unter der Gebäudeoberfläche (OKG), und 66 % der untersuchten Gebäude hatten eine Sockelhöhe von mindestens 30 cm über OKG.

Nur 8 % der statistisch erfaßten Decken wiesen den in /3/ beschriebenen 100%igen Strahlenschutz auf, bei den Außenwänden gewährleisteten 73 % einen 100%-Schutz und nur 2 % einen Schutzgrad von weniger als 70 %. 23 % der Kellerinnenwände besaßen einen 100%-Schutz und 44 % einen Schutzgrad zwischen 60 und 70 %.

In bezug auf ihre thermische Beanspruchung (Brandlastkurve: Maximaltemperatur 400 °C über 8 Stunden, danach Abnahme auf 20 °C innerhalb von 16 Stunden) ermöglichen nur 7,2 % der Deckenkonstruktionen einen 100%igen

Schutz und 60 % einen Schutzgrad von 10 bis 19 %. Bei den Kellerwänden ergibt sich hinsichtlich des Brandschutzes ein wesentlich besseres Bild: 35 % der Kelleraußenwände bieten eine Schutzwirkung von 100 % und 80 % der Innenwände einen 100%igen Schutz.

### 3.3 Rückschlüsse für die Aufstellung eines Beurteilungssystems

Die im Zusammenhang mit dem Straubinger Modell ausgearbeiteten Systemvorschläge zum Umbau von Kellern zu Schutzräumen sind aufwendig und teuer. Durch die Nichtausnutzung der Schutzwirkung vorhandener Bauteile wird das Raumvolumen umzurüstender Kellerräume vermindert.

In einem Beurteilungssystem sollen deshalb nur solche Ertüchtigungsmaßnahmen analysiert werden, die kostengünstiger sind als die in der Vergangenheit vorgestellten Konstruktionsvorschläge.

Verstärkungsmaßnahmen sollen die lichte Raumhöhe nur in einem möglichst geringen Maße verringern. Falls erforderlich, sind deshalb solche Deckenverstärkungsmaßnahmen vorzusehen, die zu einer Reduzierung der Deckenspannweite führen und nicht das Tragmoment erhöhen, da flächenhafte Verstärkungen von Decken zur Reduzierung der lichten Raumhöhe führen.

Zur Gewährleistung des thermischen und des Strahlungsschutzes sind solche Lösungsvorschläge zu bevorzugen, die mit einer möglichst geringen Querschnittsvergrößerung der Schutzraumumfassungsbauteile auskommen.

Es sind nur solche Kellerräume auszuwählen, deren Umfassungsbauteile bereits einen hohen Schutzgrad besitzen.

Konstruktive Ertüchtigungsmaßnahmen sollen die mechanischen Eigenschaften der vorhandenen Bauteile ausnutzen. Da über 90 % der Umfassungswände möglicher Schutzräume in Kellern aus Mauerwerk bestehen, ist die Tragwirkung gemauerter Wände in das Verstärkungskonzept einzubeziehen.



## 4.0 Erhebungsbögen für die Beurteilung der Ertüchtigungswürdigkeit von Umfassungsbauteilen

### 4.1 Bestandsanalyse

Grundlage für einen nachträglichen Ausbau von Kellern zu Schutzräumen in geeignet erscheinenden Gebäuden ist eine Bestandsanalyse. In Anlage 2 wird ein Entwurf vorgelegt, aus dem ersichtlich ist, wie ein solcher Fragebogen aussehen könnte und auf welche Angaben es im Hinblick auf eine Beurteilung der Ertüchtigungswürdigkeit ankommt. Der Fragebogen ist wie folgt gegliedert:

- Erhebungsteil 1.0: Allgemeine Angaben
- Erhebungsteil 2.0: Beschreibung des Gebäudes
- Erhebungsteil 3.0: Angaben zu den Kellerräumen
- Erhebungsteil 4.0: Angaben zu den Umfassungsbauteilen der Kellerräume

Im Erhebungsteil 2.0 werden Fragen nach der Bauweise, nach den Konstruktionsmerkmalen sowie nach den maßgeblichen Besonderheiten des Kellergeschosses gestellt.

Im Erhebungsteil 3.0 sollen allgemeine Angaben zu solchen Kellerräumen gemacht werden, die für einen Ausbau zu Schutzräumen geeignet erscheinen. Daher werden Fragen nach

- der Geometrie der Kellerräume,
- Türen und sonstigen Öffnungen,
- vorhandenen Fluchtwegen und Fluchtöffnungen,
- Grundwasserständen sowie
- Leitungen mit gefährlichen Gasen oder Flüssigkeiten

gestellt.

Im Erhebungsteil 4.0 sollen Fragen zu Art, Abmessungen und Zustand der den Schutzraum abschließenden Bauteile, wie Kellerdecken und Kelleraußen- und -innenwände, beantwortet werden. Zusätzlich werden Angaben zu Knotenpunktausbildung der Eckverbände und Verbindungen zwischen Wand und Querswand sowie Wand und Decke erbeten, da diese konstruktiven Details für eine Ertüchtigung von Bedeutung sind. Weiterhin sind an den Umfassungsbauteilen festzustellende Schäden in Form von Rissen oder Abplatzungen o.ä. zu protokollieren.

#### 4.2 Bewertungssystem für die Verstärkungswürdigkeit vorhandener Kellerumfassungsbauteile

Auf der Grundlage des ausgefüllten Erhebungsbogens zur Bestandsanalyse kann mit Hilfe des in Anlage 3 enthaltenen Bewertungssystems die Frage beantwortet werden, ob ein Kellerraum durch Verstärkung seiner Umfassungsbauteile grundsätzlich sinnvoll und wirtschaftlich zu einem Schutzraum auszubauen ist.

Der Begriff "sinnvoll" orientiert sich hierbei bezüglich der Raumgeometrie und äußeren Merkmalen der Kellerräume an den Erfordernissen der Bautechnischen Grundsätze für Hausschutzräume des Grundschatzes.

Der Aspekt der Wirtschaftlichkeit einer Verstärkungsmaßnahme orientiert sich naturgemäß am Verhältnis von finanziellem Gesamtaufwand zu öffentlichen Fördermitteln. Deshalb erscheint an dieser Stelle die Angabe von absoluten Zahlen nicht sinnvoll. Wichtiger erscheint es, mit Hilfe des Bewertungssystems eine Aussage darüber zu machen, wann eine Verstärkungsmaßnahme mit Sicherheit nicht mehr zu rechtfertigen ist. Hierzu werden Bewertungszahlen zwischen 0 und 100 eingeführt, je nach Antwort auf eine gestellte Frage. Dabei bedeuten 100 Punkte: "Eine Ertüchtigung wird als nicht sinnvoll erachtet." Die Bewertungszahl 0 Punkte: "Eine Ertüchtigung ist mit Sicherheit möglich".

Die Abstufung zwischen 0 und 100 wurde deshalb so groß gewählt, um bei einer späteren Vervollständigung des Bewertungssystems durch verfeinerte Angaben zwischen 0 und 100 Bewertungspunkten einen größtmöglichen Spielraum zu besitzen, ohne das Bewertungssystem verändern zu müssen.

Die maximale Zahl von 100 Bewertungspunkten, mit der eine sinnvolle und wirtschaftliche Ertüchtigung ausgeschlossen wird, wurde in folgenden Fällen vergeben:

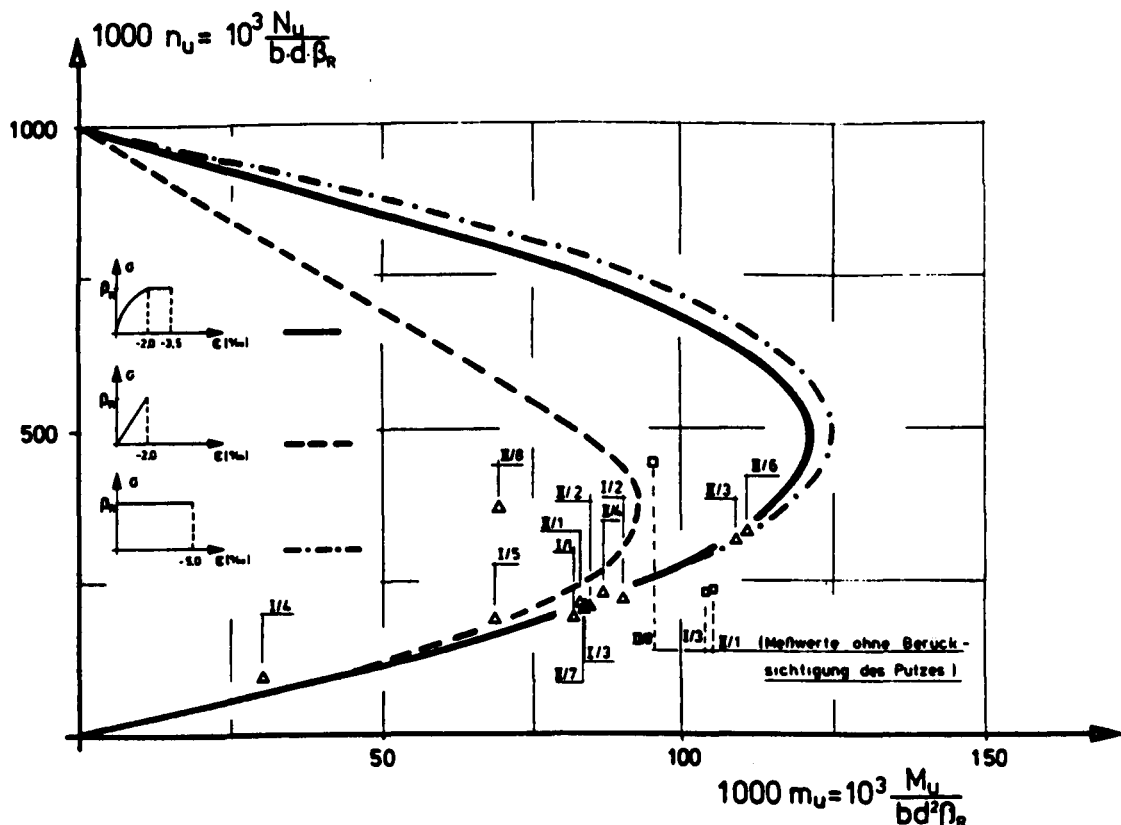
- Decken:** Der Kellerraum wird nach oben durch eine Holzbalken-, Stahlstein- oder Gewölbedecke abgeschlossen.
- Die Dicke einer Stahlbetondecke ist kleiner als 16 cm.
- Die Decke weist Schäden größeren Ausmaßes auf, z.B. in Form von starken Rissen oder Betonabplatzungen infolge Bewehrungskorrosion.
- Wände:** Die Kelleraußenwände befinden sich im Bereich des Grundwasserspiegels.
- Die gemauerten Wände wurden mit Steinen einer Festigkeitsklasse kleiner als 2 und einer Mörtelgruppe kleiner als MG II gemäß DIN 1053 Teil 1 ausgeführt.
- Die Außenwände sind dünner als 25 cm und die Dicke der Innenwände ist kleiner als 17,5 cm.
- Rechtwinklig aneinanderstoßende Wände sind in ihrem Kreuzungspunkt im Stumpfstoß miteinander verbunden.
- Kellersohle:** Kellersohlen bestehen nicht aus Stahlbeton und sind nicht kraftschlüssig mit vorhandenen Streifenfundamenten verbunden.
- Bodenabläufe in der Kellersohle weisen keine Druckstauklappen auf.
- Geometrie:** Die Grundfläche des Kellerraumes ist kleiner als 6 m<sup>2</sup> und/oder sein Volumen kleiner als 14 m<sup>3</sup>.
- Die lichte Höhe mißt weniger als 2,00 m.
- Sonstige Einflüsse:** Es müssen brennbare Güter neben dem als Schutzraum vorgesehenen Kellerraum gelagert werden oder der Kellerraum ist nicht freizumachen von Gas-, Heizungs- oder anderen gefährdenden Leitungen.

## 5.0 Trümmerschutz der raumbegrenzenden Bauteile von Kellerräumen

### 5.1 Schutzgrad gemauerter Wände

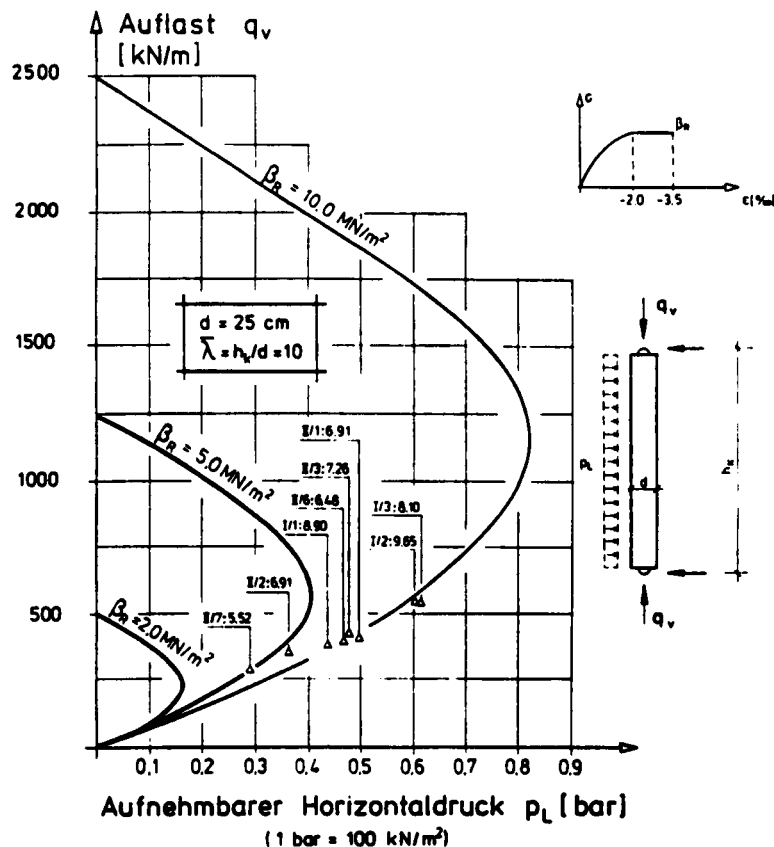
In den Jahren 1986 bis 1988 durchgeführte experimentelle Untersuchungen über das Trag- und Verformungsverhalten von einaxial beanspruchtem Mauerwerk mit den Eigenschaften alter Bausubstanz in Abhängigkeit von der Auflast haben ergeben, daß gemauerte Wände auch bei Vorhandensein niedrigfester Mörtel ( $B_{D,mw} = 0,4 \text{ N/mm}^2$ ) eine nennenswerte Biegetragfähigkeit besitzen.

**Bild 02** zeigt den Zusammenhang zwischen den normierten Bruchschnittgrößen aus Biegemoment und Normalkraft. Man erkennt, daß das aufnehmbare Bruchmoment mit zunehmender Normalkraft bis zum sogenannten Balance-Point gesteigert werden kann. Bei Berücksichtigung einer Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge wäre das Mauerwerk ohne eine Auflast in der Lage, eine bestimmte, wenngleich geringe Horizontalbeanspruchung aufzunehmen.



**Bild 02:** Interaktionsdiagramme der Bruchschnittgrößen von Mauerwerksquerschnitten

**Bild 03** zeigt beispielhaft ein Traglastdiagramm für einen einachsigt lastabtragenden Wandstreifen mit einer Höhe von 2,5 m und einer Dicke von 25 cm. Unter Berücksichtigung der Verformungen nach Theorie II. Ordnung können hieraus direkt die aufnehmbaren Horizontaldruckbeanspruchungen  $p_h$  (bar) in Abhängigkeit der vorhandenen Auflast und der Druckfestigkeit des Mauerwerks abgelesen werden.

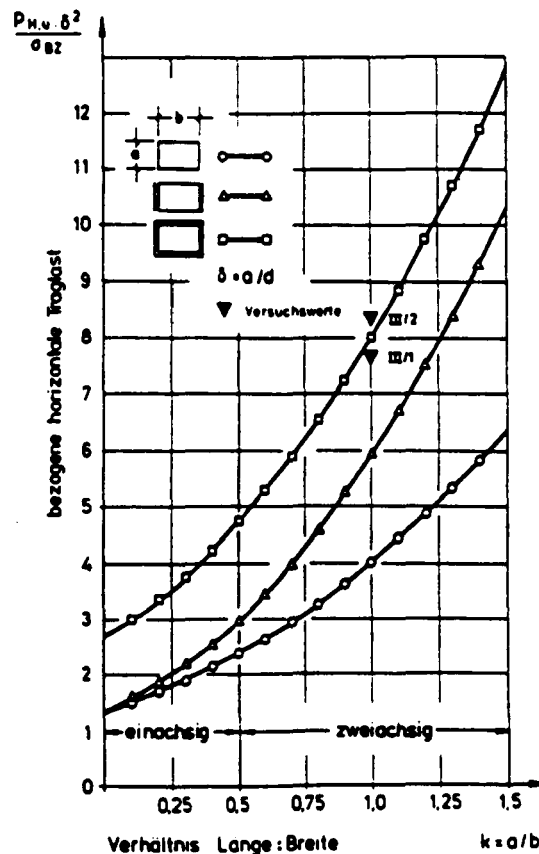


**Bild 03:** Traglastdiagramm einer gelenkig gelagerten unbewehrten Mauerwerkswand

Für die Ermittlung der Biegetragfähigkeit von Mauerwerk ist die Kenntnis der Tragfähigkeit bei kreuzweiser Biegebeanspruchung (Plattentragwirkung) von horizontal und vertikal belasteten gemauerten Wänden von großem Interesse.

So bewirken Querwände eine deutliche Steigerung der horizontalen Beanspruchbarkeit von Kellerwänden, und zwar um so mehr, je geringer ihr Abstand, je geringer das Verhältnis von Länge zu Höhe der zu beurteilenden Wand ist. Dies wird aus den in **Bild 04** dargestellten Traglastkurven er-

sichtlich, die auf der Grundlage der Bruchlinientheorie unter Berücksichtigung unterschiedlicher Lagerungsverhältnisse berechnet worden sind. Man erkennt, daß eine Laststeigerung um den Faktor 2 durch den Übergang von einachsigem zum kreuzweisen Lastabtrag erreicht wird.



**Bild 04:** Traglastkurven kreuzweise biegebeanspruchter Wände

## 5.2 Schutzgrad von Massivdecken

Im folgenden soll der Schutzgrad von Stahlbetondecken als wichtigste Gruppe der Massivdecken beurteilt werden. Begrifflich sind zwar Stahlsteindecken oder gemauerte Gewölbedecken ebenfalls den Massivdecken zuzuordnen, da sich Stahlsteindecken jedoch in der Vergangenheit als weniger dauerhaft erwiesen haben, werden sie hier nicht einbezogen; Gewölbedecken sind von untergeordneter Bedeutung (/5/; Band III, Teil 1, S. 43).

Voraussetzung für eine zutreffende Beschreibung der Tragfähigkeit von Massivdecken, und damit auch ihrer möglichen Schutzwirkung gegen herabfallende Trümmer, ist die Kenntnis ihrer stofflichen und mechanischen Eigenschaften, einschließlich der Lage und Größe der Bewehrungen. Diese Informationen sind entweder aus vorhandenen statischen Unterlagen zu entnehmen oder mit materialprüftechnischen Untersuchungsmethoden festzustellen.

Nach den Bautechnischen Grundsätzen für Hausschutzräume des Grundschutzes, Abschnitt 5.15, sind beim Festigkeitsnachweis für schutzraumabschließende Bauteile die ständigen Lasten, die Verkehrslasten und die Trümmerlasten gleichzeitig und in der jeweils ungünstigsten Laststellung anzusetzen. Eine auf der Grundlage der DIN 1045 für Eigengewicht und Verkehrslast bemessene Stahlbetondecke besitzt im Gebrauchszustand keine planmäßige Traglastreserve, um eine zusätzliche Trümmerlast aufnehmen zu können.

Der DIN 1045, Abschnitt 17.2.2 /6/ liegen globale Sicherheitsbeiwerte von  $\gamma = 1,75$  bei Versagen mit Vorankündigung und  $\gamma = 2,1$  bei Versagen ohne Vorankündigung zugrunde.

Der Eurocode 2 /7/ bzw. CEB/FIM Model Code /8/ geht von Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma_m$  aus, und zwar getrennt für Baustoffeigenschaften und äußere Einwirkungen auf das Tragwerk sowie für ständige, veränderliche und außergewöhnliche Zustände.

Bei Zugrundelegung unterschiedlicher Normen bei der rechnerischen Beurteilung der Trümmersicherheit vorhandener Stahlbetondecken ergeben sich daher zwangsläufig Unterschiede hinsichtlich Ergebnissen der durchgeführten Rechnungen. Das folgende Beispiel soll diesen Umstand verdeutlichen.

Bei einer als allseits gelenkig gelagert angenommenen, kreuzweise lastabtragenden, 16 cm dicken Stahlbeton-Einfelddeckenplatte von

$$l_x/l_y = 4,5/4,5 \text{ m}$$

mit einem Eigengewicht von

$$g = 5,60 \text{ kN/m}^2$$

und einer Verkehrslast incl. Leichtwandzuschlag

$$p = 2,75 \text{ kN/m}^2$$

ist aufgrund einer Rechnung nach der Plattentheorie von Czerny und DIN 1045 bei Verwendung eines B25 als Konstruktionsbeton eine Bewehrung mit einer Querschnittsfläche von

$$a_{sx} = a_{sy} = 1,62 \text{ cm}^2/\text{m}$$

in Form von Baustahlgewebe-Lagermatten

$$Q 188 \text{ aus BSt 500 M}$$

vorzusehen.

Es soll nun untersucht werden, in welchem zahlenmäßigen Zusammenhang die rechnerischen Biegemomente  $M_d$  zu dem rechnerischen Bruchmoment  $M_{u,d}$  stehen (Indizierung d für "design" gemäß Eurocode 2 /6/). In Abhängigkeit jeweils zugrunde gelegter Normen und Lasteinwirkungen werden folgende Fallunterscheidungen getroffen:

- Fall 1: Bemessung nach DIN 1045
- Fall 2: Bemessung nach Eurocode 2, CEB/FIB Model Code - normale Lasteinwirkung
- Fall 3: Bemessung wie Fall 2, aber Berücksichtigung außergewöhnlicher Lastzustände (accidental situations)

Allen Fällen liegen die Lastannahmen nach DIN 1055 bzw. Bautechnischen Grundsätzen für Hausschutzräume im Grundschutz sowie die Schnittgrößenermittlung nach der Elastizitätstheorie zugrunde. Im Fall 3 wird auf eine Berücksichtigung des Leichtwandzuschlages verzichtet, da dieser im Katastrophenfall in der Trümmerlast enthalten sein dürfte.



Ausgehend von dem Nachweisprinzip

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

mit  $M_{Sd}$  Rechenwert des aufzunehmenden Biegemomentes und  
 $M_{Rd}$  rechnerisch aufnehmbares Bruchmoment

ergeben sich für die Fälle 1 bis 3 folgende Bestimmungsgleichungen unter Einbeziehung der entsprechenden Sicherheitsbeiwerte.

Fall 1:  $1,75 \cdot (M_g + M_{p+\Delta p} + M_T) \leq M_{Rd}$   
 $M_{Rd} = f(\beta_R, \beta_S)$

Fall 2:  $1,35 M_g + 1,5 M_{p+\Delta p} + 1,1 M_T \leq M_{Rd}$   
 $M_{Rd} = f\left(\frac{0,85 \cdot f_{cD}}{\gamma_c}; \frac{f_{yk}}{\gamma_s}\right); \gamma_c = 1,5; \gamma_s = 1,15$

Fall 3:  $1,0 M_g + 0,4 M_p + 1,0 M_T < M_{Rd}$   
 $M_{Rd} = f\left(\frac{0,85 \cdot f_{cD}}{\gamma_c}; \frac{f_{yk}}{\gamma_s}\right); \gamma_c = 1,3; \gamma_s = 1,0$

In den obigen Beziehungen bedeuten:

$M_g$	Gebrauchslastmoment für Eigengewicht
$M_{p+\Delta p}$	Gebrauchslastmoment für Verkehrslast incl. Leichtwandzuschlag
$M_p$	Gebrauchslastmoment für Verkehrslast ohne Leichtwandzuschlag
$M_T$	Gebrauchslast für Trümmerbelastung
$\beta_e$	Rechenwert der Betondruckfestigkeit gemäß DIN 1045
$\beta_s$	Streckgrenze des Betonstahls
$f_{cD}$	Charakteristische Betondruckfestigkeit von zylinderförmigen Prüfkörpern (Nennfestigkeit)
$f_{cK}$	Streckgrenze bei 0,2 % Dehnung des Betonstahls
$\gamma_c$	Teilsicherheitsbeiwert für den Beton
$\gamma_s$	Teilsicherheitsbeiwert für den Betonstahl

Für den Fall 3 wurden die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß Eurocode 2, Abschnitt 2.2.2.2. zur Berücksichtigung außergewöhnlicher Lastzustände verwendet.

Da die vom Stahlbetonquerschnitt rechnerisch aufnehmbaren Tragmomente auf der Grundlage der im Bauteil vorzufindenden stofflichen Randbedingungen leicht zu berechnen sowie Eigengewicht und Verkehrslast bekannt sind, läßt sich der zur Aufnahme einer zusätzlichen Trümmerbelastung noch verbleibende Anteil des Tragmomentes - und daraus die aufzunehmende Trümmerlast selbst - leicht berechnen. Die Tabelle 02 enthält die unterschiedlichen auftretenden bzw. aufnehmbaren Biegemomente in Feldmitte für die genannten Grenzfälle.

Fall	BIEGEMOMENTE IM RECHNERISCHEN BRUCHZUSTAND				aufnehmbare Trümmerlast
	Biegemoment aus Eigengewicht	Biegemoment aus Verkehrslast	aufnehmbares Biegemoment aus Trümmerlast	aufnehmbares Tragmoment	
	$M_{g,d}$ [kNm/m]	$M_{q,d}$ [kNm/m]	$M_{T,d}$ [kNm/m]	$M_{R,d}$ [kNm/m]	$P_T$ [kNm/m <sup>2</sup> ]
1	7,26	3,58	1,8	12,64	1,38
2	5,60	3,07	2,23	10,9	2,73
3	4,56	0,45	7,49	12,5	10,06

**Tabelle 02:** Rechnerisch aufnehmbare Trümmerlasten einer Stahlbetondecke in Abhängigkeit unterschiedlicher Sicherheitsbetrachtungen

Man erkennt, daß, wie erwartet, bei der unterschiedlichen Beurteilung des Sicherheitsniveaus unter Umständen erhebliche rechnerische Tragreserven in Ansatz gebracht werden können. Die in Tabelle 02 angegebenen aufnehmbaren Trümmerlasten beziehen sich auf die eingangs geschilderten Randbedingungen und sind quantitativ nicht auf alle Stahlbetondecken anzuwenden. Im allgemeinen sind - in einfacher Weise ausgedrückt - kreuzweise lastabtragende Stahlbetondecken in der Lage, im Katastrophenfall zusätzliche Trümmerlasten in der Größenordnung ihres Eigengewichtes aufnehmen zu können.

## 6. Konstruktive Maßnahmen zur Erhöhung des Schutzgrades bei mechanischer Beanspruchung von Schutzraumbauteilen

### 6.1 Allgemeines

Eine nachträgliche Erhöhung der Tragfähigkeit von vorwiegend biegebeanspruchten Bauteilen kann grundsätzlich durch drei verschiedene Maßnahmen erreicht werden. Diese sind

- Verbinden mit Vorsatzbauteilen,
- Erhöhung oder Schaffung einer Biegezugfestigkeit z.B. durch nachträgliches Bewehren,
- Steigerung der horizontalen Beanspruchbarkeit von Wänden durch Erhöhung der Druckbeanspruchung, z.B. infolge nachträglicher Vorspannung

Die beiden erstgenannten Lösungsvorschläge sind gleichermaßen auf Wände und Decken anzuwenden. Sie können lokal begrenzt (zusätzliche Abstützungen oder Pfeilervorlagen) oder flächenhaft (nachträgliche Beschichtungen) durchgeführt werden. Pfeilervorlagen sind bewährte Baumaßnahmen zur Queraussteifung von Wänden aus Natur- oder künstlichen Steinen, während flächige Verstärkungen als konstruktive Maßnahmen bisher nicht üblich waren. Insofern sind für die nachträgliche Verstärkung durch bewehrte oder nicht bewehrte Putzschalen Nachweise der ausreichenden Haftung und des schub-sicheren Verbundes erforderlich; hierzu wurden einige Untersuchungen für einen speziellen PCC-Mörtel durchgeführt, über deren Ergebnisse in Abschnitt 7 berichtet wird.

Im folgenden sollen nun konstruktive Einzellösungen auf ihre traglaststeigernde Wirkung hin untersucht, ihre handwerkliche Durchführbarkeit diskutiert und in Abschnitt 8.0 geeignete Maßnahmen auf ihre Wirtschaftlichkeit überprüft werden.

## 6.2 Verstärkungsmaßnahmen an gemauerten Wänden

Eine örtliche Verstärkung gemauerter Wände durch Pfeilervorlagen unter Verwendung von Stahlprofilen, Stahlbetonstützen oder Mauerwerk bewirken in erster Linie einen kreuzweisen Lastabtrag der horizontalen Biegebeanspruchung in den Feldbereichen zwischen den Aussteifungen. Die daraus resultierende Traglastserhöhung wurde bereits erwähnt. Dabei ist darauf zu achten, daß bei möglichst beidseitiger Verstärkung der Wand ein quasi schubsteifer Verbund zwischen Mauerwerkswand und Aussteifungsbauteil erzielt wird. Der Kopf- und Fußpunkt der Pfeilervorlage ist mindestens gelenkig mit Sohl- und Deckenplatte zu verbinden.

Eine flächenhafte Wandverstärkung kann durch

- das Anbringen mittragender Putze mit Faserzusätzen
- Ankleben/Andübeln von Stahllaschen
- Beschichten der Wandoberflächen durch Spritzmörtel mit Bewehrung und/oder Faserzusätzen

erreicht werden.

### 6.2.1 Örtliche Wandverstärkung durch Pfeilervorlagen

Ziel örtlicher Verstärkungsmaßnahmen durch nachträgliche Anbringung von Pfeilervorlagen ist es, über die Schaffung zusätzlicher vertikaler linienförmiger Auflager bei langen Wänden einen kreuzweisen Lastabtrag in den "Feldbereichen" zwischen den Queraussteifungen zu erzielen.

Sie sind nur sinnvoll bei Wänden von mehr als 5 m Länge bzw. bei einem Längen/Höhenverhältnis der unverstärkten Wand von  $l/h \geq 2,0$ .

Das Bild 09 enthält Konstruktionsvorschläge für derartige Queraussteifungen aus Stahlprofilen und Mauerwerk kombiniert mit Stahlbeton an der Innenseite einer gemauerten Schutzraumwand. Massive Pfeilervorlagen aus Stahlbeton haben den Vorteil, daß sie quasi schubsteif über freizustem-

mende und anschließend zu vergießende Aussparungen durch Verzahnung mit der Mauerwerkswand verbunden werden können. Im Beanspruchungsfall kann sich somit bei einseitiger Verstärkung im Verbundquerschnitt aus Mauerwerk und massivem Pfeilerquerschnitt eine mitwirkende Plattenbreite in der Druckzone aus Mauerwerk einstellen. Dies erhöht die Biegesteifigkeit und somit auch die Wirksamkeit derartiger Pfeilervorlagen ganz erheblich.

Es stellt sich somit die Frage, wie steif eine Pfeilervorlage sein muß, um einen kreuzweisen Lastabtrag in den Wandbereichen neben der Queraussteifung zu erreichen. Als Maß hierfür kann das Verhältnis zwischen der längs einer Pfeilervorlage aufsummierten Querkraft  $Q_{xre}$  und der Gesamthorizontalkraft  $Q_H$  einer durch nachträgliches Anbringen der Queraussteifung entstandenen Wandhälfte angesehen werden. Das Vorhandensein einer "unendlich steifen" Pfeilervorlage bewirkt eine starre Lagerung der Mauerwerkswand im Bereich der Queraussteifung, wie sie sich bei aussteifenden Querwänden einstellen würde. Somit ergibt sich in diesem Falle ein Verhältnis  $Q_{xre}/Q_H$  von 0,41 wie an einem eingespannten Rand einer kreuzweise lastabtragenden Platte. Ist eine Pfeilervorlage als "unendlich weich" einzustufen, so beträgt das Verhältnis  $Q_{xre}/Q_H = 0$ : Es stellt sich ein einachsiger Lastabtrag ein und die Pfeilervorlage wäre wirkungslos. Dabei wird unterstellt, daß die Pfeilervorlage bis zum Bruchzustand an ihrem Kopf- und Fußpunkt in der Lage ist, ihre Belastung aus den beiden Wandhälften in die Sohl- und Deckenplatte einzuleiten. Reine Mauerwerksvorlagen können dies nur über Reibung und Kohäsion in der Anschlußfuge leisten (siehe Abschnitt 6.4.2.ff), was im Vergleich zu geeigneten Verdübelungen bei Stahl- und Stahlbetonstützen als weniger wirksam einzuschätzen ist.

Bild 10 zeigt die sich an den Rändern einer senkrecht zu ihrer Ebene horizontal belasteten Wandhälfte einstellenden Querkräfte  $Q_{r1}$ , bezogen auf die Gesamthorizontallast  $Q_H$  in Abhängigkeit des Biegesteifigkeitsverhältnisses  $\psi$  zwischen Pfeilervorlage  $EJ_{St}$  und Mauerwerksquerschnitt  $EI_{mw}$ . Die Dicke der Mauerwerkswand soll 26 cm betragen (reichsformatige Vollziegel im Blockverband vermauert). Die Länge der Wand mißt 4,0 m und die Höhe 2,0 m. Somit ergibt sich eine zu betrachtende Wandhälfte mit einem Seitenverhältnis von  $\epsilon = l/h = 2,0/2,0 = 1,0$ . Im Bereich der Pfeilervorlage als Mittelaufleger stellt sich eine Einspannwirkung ein. Alle übrige

gen Ränder sollen gelenkig gelagert sein. Letztere Annahme erscheint insofern sinnvoll, als eine Einspannung am Kopf und Fuß der Wand im Verhältnis zur Randeinspannung über der Pfeilervorlage gering ausfällt. Es wurde zunächst - im Gegensatz zum realen Last-Verformungsverhalten von Mauerwerk - ein linear-elastisches Materialverhalten unterstellt. Bei einer angenommenen Horizontalbelastung von  $q_H = 10 \text{ kN/m}^2$  ist bei den gewählten Systemabmessungen noch keine Ribbildung im Mauerwerk zu erwarten, so daß die Annahme linear-elastischen Materialverhaltens noch gerechtfertigt erscheint.

Für das Verhältnis  $\psi = EI_{St}/EI_{mw} = \infty$  stellt sich eine starre Lagerung der Mauerwerkswand im Bereich der Pfeilervorlage ein. Man erkennt, daß mit zunehmender Biegesteifigkeit der Pfeilervorlage auch die hier zu übertragende Querkraft ansteigt. Es zeigt sich weiterhin, daß die Biegesteifigkeit der Queraussteifung um das 2- bis 3-fache größer sein muß als die Biegesteifigkeit des Mauerwerksquerschnittes im Zustand I, um eine einigermaßen gleichmäßige Horizontallastverteilung auf alle vier horizontalen Wandabstützungen zu erreichen.

Bild 11 enthält eine Darstellung der Ergebnisse physikalisch nicht linearer FE-Berechnungen einer in gleicher Weise in der Mitte durch eine Pfeilervorlage ausgesteiften Mauerwerkswand mit einer Länge und Höhe von 2,25 m. Erwartungsgemäß stellt sich eine annähernd gleichmäßige Lastverteilung auf alle 4 Lagerungsränder der Wand erst bei noch größeren als o.g. Steifigkeitsverhältnissen ein. Der Grund hierfür liegt in der ausgeprägteren Lastumlagerung zu den steiferen Rändern hin.

Mit Hilfe dieser Rechnungen konnte ebenfalls gezeigt werden, daß die Biegesteifigkeit einer nachträglich anzubringenden Pfeilervorlage mindestens das Dreifache des Mauerwerksquerschnittes betragen sollte. Aus einbautechnischen Gründen ist die Verwendung eines Stahlprofils unter Umständen weniger aufwendig als die Errichtung einer Pfeilervorlage aus Stahlbeton. Allerdings kann bei Verwendung einer Stahlbetonstütze mit gleichen äußeren Abmessungen wie beim Stahlprofil wegen der einfacher herzustellenden schubfesten Verzahnung mit dem Mauerwerk eine Mitwirkung des Mauerwerks als Druckquerschnitt und somit eine höhere Biegesteifigkeit erreicht werden.

### 6.2.2 Flächige Wandverstärkung durch aufgeklebte Stahl- und Kunststofflaschen

Die flächige Verstärkung einer Mauerwerkswand zur Erhöhung ihrer Biegezugfestigkeit mittels aufgeklebter Stahl- oder Kunststofflaschen geschieht am zweckmäßigsten senkrecht zu den Lagerfugen, da die Zugfestigkeit des Mauerwerks hier am geringsten ist. Eine kreuzweise Anordnung von Laschen zur Erhöhung der Biegezugfestigkeit senkrecht und parallel zu den Lagerfugen ist zwar möglich, aber hinsichtlich ihrer Montage sehr aufwendig.

Baupraktische Erfahrungen über das Kleben von Laschen auf Mauerwerk existieren bisher nicht. Im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig sind allerdings umfangreiche Untersuchungen über mit Stahl- und Kunststofflaschen verstärkte Betonbauteile durchgeführt worden /9...15/. Prinzipiell wird eine derartige Verstärkung von Mauerwerk zur Erhöhung seiner Biegetragfähigkeit für möglich gehalten, weil die Eigenschaften der zu verwendenden Epoxid-Harzkleber auf Oberflächen unterschiedlicher mineralischer Baustoffe als gleich gut zu beurteilen sind. Wie bei Beton ist auch bei Mauerwerk zu erwarten, daß im Versagensfall ein Trennbruch zwischen Lasche und Untergrund durch Überschreiten der Klebeverbundspannung zu erwarten ist. Über die Größe der Haftzugfestigkeit und Klebeverbundspannung in Abhängigkeit verschiedener Steinmaterialien sind mangels Versuchserfahrungen nur grobe Abschätzungen möglich.

Weiterhin ist darauf hinzuweisen, daß ein Nachweis der Feuerwiderstandsdauer von mit Laschen ertüchtigten Mauerwerkswänden im allgemeinen unter der Voraussetzung zu führen ist, daß die Laschen bei einer Wandoberflächentemperatur von mehr als 50 °C nicht mehr tragfähig sind. Eine Verwendung von Laschen als Ertüchtigungsmaßnahme empfiehlt sich daher nur dann, wenn solche Wandoberflächentemperaturen entweder nicht auftreten oder die Laschen im Brandfall durch Zusatzmaßnahmen hinreichend gegen Erwärmung geschützt sind.

Im folgenden wird anhand einer rechnerischen Abschätzung gezeigt, welche Erhöhung der Biegetragfähigkeit von mit Stahl oder Kunststoffflaschen verstärkten Mauerwerkswänden erreicht werden kann.

Die Materialeigenschaften von Stahl- und Kunststoffflaschen sind wie folgt zu beschreiben.

### Stahllaschen:

**Stahl St 37-2 nach DIN 17 100;      Streckgrenze  $R_s = 240 \text{ N/mm}^2$ ,  
E-Modul  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$**

### Kunststoffflaschen:

**auch GFK-Laschen (glasfaserverstärkter Kunststoff)**

Glasgehalt DIN 53 395	55... 70 Gew.-%
Rohdichte DIN 53 479	1800... 1850 kg/dm <sup>3</sup>
Zugfestigkeit DIN 53 455	520... 700 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul DIN 7735	27000...35000 N/mm <sup>2</sup>

Die Laschendehnung soll auf 2 ‰ und die Laschenspannung auf 60 N/mm<sup>2</sup> begrenzt werden.

In den nach der Bruchlinientheorie durchgeführten Berechnungen wurde von einer Mauerwerksdruckfestigkeit von

$$B_{D,mw} = 5 \text{ N/mm}^2$$

ausgegangen. Es wurde ein einachsiger Lastabtrag bei einer zu verstärkenden 26 cm dicken und 2,25 m hohen Mauerwerkswand untersucht. Kopf- und Fußbeanspruchungen unter Inkaufnahme einer Aufklaffung des Mauerquerschnittes bis zur Schwerachse sowie die Ausbiegung der Mauerwerkswand um maximal 1,5 cm (Theorie II. Ordnung) wurden berücksichtigt.

Die angegebenen Waddicken beziehen sich auf den unverstärkten Mauerwerksquerschnitt. Die Querschnittsabmessungen der Verstärkungsbauteile werden gesondert benannt.



In den Bildern 13 und 14 sind die aufnehmbaren horizontalen Traglasten  $p_h$  (bar) in Abhängigkeit der vorhandenen Wandauflast  $q_v$  (kN/m) bei Variation der Bewehrungsgehalte  $\mu$

$$\mu = \frac{A_L}{A_{mw}} \quad (\%)$$

$A_L$  Laschenquerschnitt

$A_{mw}$  Mauerwerksquerschnitt

graphisch dargestellt. Zu Vergleichszwecken wurde die Traglastkurve für eine entsprechende unverstärkte Mauerwerkswand mit angegeben.

Man erkennt, daß eine Steigerung der Biegetragfähigkeit durch das Ankleben von Laschen generell möglich ist und - zur Erzielung der gleichen horizontalen Traglast  $p_h$  bei gleicher Auflast  $q_v$  - bei Verwendung von Stahllaschen nur ein Viertel der Bewehrungsquerschnitte benötigt wird als bei der Ertüchtigung mittels GFK-Laschen. Eine Verstärkung über die angegebenen Bewehrungsgehalte hinaus ist nicht sinnvoll, da dann im Versagensfall das Schubtragverhalten maßgebend wird (siehe auch Abschnitt 6.4.2).

Das Verstärken von Mauerwerkswänden durch Ankleben von Stahl- oder GFK-Laschen wird zusammenfassend als eine mögliche, aber mit Schwierigkeiten verbundene Ertüchtigungsmöglichkeit eingestuft: Mit vertretbarem Aufwand ist nur eine einachsige Traglaststeigerung zu erreichen.

### 6.2.3 Unbewehrte Wandbeschichtungen aus Spritzmörtel

PCC-Spritzmörtel zeichnen sich unter anderem durch eine relativ hohe Biegezugfestigkeit von  $\beta_{BZ} = 6 \dots 8 \text{ N/mm}^2$  im Vergleich zu nicht kunststoff-modifizierten Mörteln oder Betonen aus. Aus diesem Grunde könnte man unbewehrte Spritzmörtelschalen aus PCC-Mörteln als Ertüchtigungsmaßnahme für nachträglich zu verstärkende Mauerwerkswände vorsehen.

Das Tragverhalten eines solchen orthotropen Schichtensystems ist jedoch mit einfachen Mitteln rechnerisch nur schwierig zu erfassen, weil die Er-

mittlung der Bruchmomente in x- und y-Richtung dieses Platten-Scheibensystems auf nicht abgesicherten Eingangsparametern beruht.

Eine nach der Elastizitätstheorie unter Berücksichtigung der unterschiedlichen E-Module durchgeführte Berechnung der Rißmomente als Bruchmomente liefert eine obere Grenze der aufnehmbaren Traglasten. Allerdings überschreiten die  $1/n$ -fachen Biegespannungen des Mauerwerks im Bereich der Kontaktfläche zwischen Mauerwerk und Spritzbeschichtung bei weitem realistische Materialwerte. Eine Berechnung nach Zustand II unter Berücksichtigung der unbewehrten Spritzmörtelschale als Biegezugglied ist ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet, weil aufgrund der geringen Duktilität des Spritzmörtels nicht davon ausgegangen werden kann, daß bei geringen Dehnungen des PCC-Mörtels die volle Druckfestigkeit des Mauerwerks ausgenutzt werden kann. Weiterhin besteht die Gefahr, daß infolge Rißbildung, welche z.B. durch behindertes Schwinden verursacht werden kann, die Zuggliedwirkung des Beschichtungsmaterials aufgehoben wird.

Deshalb wird als untere Grenze der horizontalen Traglasten der Fall angenommen, daß in vertikaler Richtung das Bruchmoment durch die Exzentrizität der Biegedruckkraft von der Schwerlinie des Querschnittes unter Berücksichtigung der unterschiedlichen E-Module von Mauerwerk und Spritzmörtel gebildet wird. In waagerechter Richtung entspricht das Bruchmoment der Rißlast, welche nach Elastizitätstheorie berechnet wurde, weil parallel zu den Lagerfugen größere Biegezugfestigkeiten in Ansatz gebracht werden können als senkrecht dazu  $/2/$ .

Unter Berücksichtigung der oben genannten Annahmen wurden die in den Bildern 15 und 16 dargestellten horizontalen Traglasten mit und ohne Berücksichtigung der Zuggliedwirkung des Beschichtungsmaterials eines 26 cm dicken verstärkten Wandstreifens und einer 17,5 cm dicken kreuzweise lastabtragenden Mauerwerkswand in Abhängigkeit von der Wandauflast nach der Bruchlinientheorie ermittelt. Zu Vergleichszwecken sind die Traglasten entsprechender nicht ertüchtigter Mauerwerkswände mit eingetragen. Wie man erkennt, können, ausgehend von der unteren Traglastgrenze, durch das Aufbringen einer unbewehrten Spritzmörtelschale nur geringe Traglaststeigerungen erzielt werden. Falls sich nach einer versuchstechnischen Überprüfung allerdings die in der oberen Traglastbegrenzung

enthaltenen horizontalen Traglasten als realistisch erweisen, ist eine solche Verstärkungsmaßnahme als sehr effektiv einzustufen. Weitere Untersuchungen hierzu werden für erforderlich gehalten.

#### 6.2.4 Faserbewehrte Wandbeschichtungen

Eine weitere Möglichkeit zur Ertüchtigung gemauerter Kellerwände besteht darin, ihre Innenflächen mit einer Spritzbeschichtung aus stahl- oder kunststofffaserbewehrten PCC-Mörtel zu versehen.

Zur Verwendung für Faserbetone oder Fasermörtel liegen nicht nur Untersuchungen für stählerne Fasern vor /16; 17; 18/, sondern auch für Fasern anderer Materialien, z.B. Glasfasern oder Kunststofffasern. Die Wirkung von Faserzusätzen soll hier am Beispiel der Stahlfasern erläutert werden. Die Fasern dienen als Bewehrung und damit zur Übernahme von Zugkräften in der Verbundkonstruktion aus Mauerwerk und Spritzbeschichtung. Die Stahlfasern sind gerade, gewellte, gekröpfte oder profilierte dünne, wenige Zentimeter lange Drähte, deren Länge zu Dicke sich wie 40:1 bis 120:1 verhält. Sie werden dem Trockenmörtel während des Mischens zugegeben. Der Fasergehalt liegt je nach gewünschten mechanischen Eigenschaften der Mörtel oder Betone zwischen 0,5 bis 1,5 und in Ausnahmefällen bis zu 3 Vol.-%.

Aufgrund der anzustrebenden gleichmäßigen Durchsetzung des Mörtels mit Stahlfasern ergeben sich durch eine höhere Zähigkeit geprägte Materialeigenschaften, die eine faserbewehrte Spritzmörtelbeschichtung gerade auch für stoßbeanspruchte Bauteile geeignet erscheinen lassen. Die Dauerhaftigkeit ist hinsichtlich der Korrosion der Stahlfasern wenig problematisch. Bei Vorliegen korrosionsfördernder Umweltbedingungen können zwar in unmittelbarer Oberflächennähe sehr geringvolumige Korrosionsprodukte entstehen, die aber lediglich zu punktuellen Absprengungen bis in etwa 2 mm Tiefe führen. Dies ist allenfalls ein ästhetisches Problem, da unschöne Rostflecke damit verbunden sind. Durch Beschichtung der Bauteiloberflächen mit zementgebundenen, kunstharzmodifizierten Materialien kann derartigen optischen Mängeln langfristig wirksam begegnet werden. Bei der

Verwendung von alkaliwiderstandsfähigen Glasfaserzusätzen wird diese Erscheinung vermieden.

Die einachsige Zug- und Druckfestigkeit wird durch den Zusatz von Stahlfasern nicht wesentlich erhöht. Allerdings werden durch Fasern die Festigkeitseigenschaften über größere Dehnungsbereiche abgesichert. Die Stahlfasern beeinflussen also primär das Verhalten nach Erreichen der Zug- oder Druckfestigkeit bzw. nach Überschreiten der diesen Festigkeitswerten zugeordneten Dehnungen. Eine große Bedeutung kommt dem Einfluß der Stahlfasern auf die Größe der Bruchdehnung zu, also einem Maß für die Verformbarkeit und damit eine Voraussetzung für das erwünschte dynamische Arbeitsvermögen, welches durch den Stahlfaserzusatz erhöht wird.

Bei Zugbeanspruchung wird zwar die zur Zugfestigkeit gehörende Dehnung - auch Reißdehnung genannt - nur unbedeutend beeinflusst. Durch Stahlfaserzusatz /7/ lassen sich jedoch um ein Vielfaches größere Werte der Zug-Bruch-Dehnung erreichen. Hier handelt es sich um Dehnungen aufgrund des Auszieh Widerstandes der Stahlfasern in den Rissen, der auf Verbund und Verzahnungswirkungen beruht und über relativ lange Ausziehwege erhalten bleibt. In Bild 17 sind einige Diagramme aus /17/ enthalten, die das Materialverhalten stahlfaserbewehrter Betone und Mörtel exemplarisch darstellen.

Für die rechnerische Ermittlung von horizontalen Traglasten eines einseitig mit stahlfaserbewehrtem Spritzmörtel beschichteten Wandstreifens von 2,25 m Höhe und einer Mauerwerksdicke von  $d_{mw} = 0,26$  m werden folgende Materialkennwerte und Rechenannahmen unterstellt.

Mauerwerk:

Druckfestigkeit $\beta_{D,mw}$	= 5 MN/m <sup>2</sup>
E-Modul $E_{mw}$	= 5000 MN/m <sup>2</sup>

Faserbewehrter Spritzmörtel:

Druckfestigkeit $\beta_{D,sp}$	= 37,26 MN/m <sup>2</sup>
Zugfestigkeit $\beta_{Z,sp}$	= 6,00 MN/m <sup>2</sup>

Rechenannahmen:

- Gültigkeit der Bruchlinientheorie
- Durchbiegung der Mauerwerkswand im Bruchzustand um 1,5 cm
- ideal-plastisches Verhalten der Werkstoffe
- Kopf- und Fußbeanspruchung der Mauerwerkswand (Klaffung des gerissenen Querschnittes bis zur Schwerachse)

Bild 18 enthält eine graphische Darstellung der aufnehmbaren horizontalen Traglasten  $p_h$  (bar) in Abhängigkeit von Wandauflasten  $q_v$  bis 150 kN/m und faserbewehrten PCC-Spritzmörtelbeschichtungen von  $d_{sp} = 2,0$  und  $3,0$  cm für den einachsigen Lastabtrag. Zu Vergleichszwecken wurde eine Kennlinie für einen entsprechenden unverstärkten Wandstreifen mit eingetragen.

Für die rein theoretische Annahme einer Mauerwerkswand ohne Auflast wurde rechnerisch eine gelenkige Lagerung unterstellt, da sich eine Einspannung bei Mauerwerk ohne nennenswerte Biegezugfestigkeit nur durch eine vorhandene Normalkraftbeanspruchung einstellen kann.

Man erkennt, daß eine deutliche Steigerung der horizontalen Traglast auch für den Zustand  $q_v = 0$  schon durch eine relativ dünne Beschichtung von  $d_{sp} = 2,0$  cm gegenüber der unverstärkten Mauerwerkswand möglich ist. Einer versuchstechnischen Überprüfung bleibt es aber auch hier vorbehalten, die der Rechnung zugrunde gelegten Annahmen zu überprüfen.

Gerade wegen der Eigenschaften faserbewehrter Betone und Mörtel, aufgrund ihrer Zähigkeit bzw. ihres Plastifizierungsvermögens Stoßbelastungen gut absorbieren zu können, wird diese Verstärkungsmaßnahme für gemauerte Kellerwände bei nachträglich einzurichtenden Hausschutzräumen empfohlen.

### 6.2.5 Betonstahlbewehrte Wandbeschichtungen

Das Anbringen von betonstahlbewehrten Wandbeschichtungen auf vorhandenes Mauerwerk geschieht am einfachsten durch Fixieren von Betonstahlgewebematten und anschließenden Spritzmörtelauftrag z.B. im Naßspritzverfahren. Die Rückprallemissionen sind beim Naßspritzverfahren mit ca. 5...10 % wesentlich geringer als bei der Anwendung des Trockenspritzverfahrens /19/. Es ist wirtschaftlich günstig, Spritzmaschinen zu verwenden, die wegen ihrer Größe und ihres Gewichts auch in kleinen Kellerräumen einsetzbar sind; damit können große Schlauchlängen zwischen Spritzmaschine und Spritzdüse sowie nicht unerhebliche Mörtelverluste vermieden werden.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden vergleichend die Verbundeigenschaften von im Naßspritzverfahren aufgetragenen Mörtelschichten mit im Handauftrag angebrachten geprüft: es wurden keine wesentlichen Unterschiede festgestellt. Allerdings ist die handwerkliche Durchführung des Vorwerfens und Verstreichens von im Handeinbau anzubringenden Mörteln auf zuvor bewehrten Mauerwerksflächen schwieriger als ein Vorspritzen, weil ein Verstreichen des Mörtels auf einer Mauerwerksoberfläche nach Aufbringen der Bewehrung praktisch unmöglich ist.

Die Fixierung der Bewehrung geschieht am zweckmäßigsten durch Dübeln, Anageln oder Verschrauben. Letzteres kann z.B. mittels mindestens feuerverzinkter Gewindestangen erreicht werden, die in Bohrlöchern geführt und auf der Außenseite verankert werden. Vorversuche haben ergeben, daß hierdurch ebenfalls die Schubtragfähigkeit von nachträglich bewehrten Mauerwerkswänden erhöht werden kann.

Es wurde eine rechnerische Ermittlung von horizontalen Traglasten eines biegebeanspruchten, einseitig mit Betonstahlgewebematten bewehrten und mit Spritzmörtel beschichteten Wandstreifens (einachsiger Lastabtrag) von 2,25 m Höhe und 26 cm Dicke zum Nachweis der traglaststeigernden Wirkung dieser Ertüchtigungsmaßnahme durchgeführt; dabei wurden folgende Materialkennwerte und Rechenannahmen unterstellt:

**MATERIALKENNWERTE:**

<b><u>Mauerwerk:</u></b>	Druckfestigkeit	$\beta_{D,mw} = 5 \text{ MN/m}^2$
	E-Modul	$E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$
<b><u>Spritzmörtel:</u></b>	Druckfestigkeit	$\beta_{D,sp} = 37,26 \text{ MN/m}^2$
	E-Modul	$E_{mw} = 21000 \text{ MN/m}^2$
<b><u>Bewehrung:</u></b>	BSt 500 M	
	E-Modul	$E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

**RECHENANNAHMEN:**

- Gültigkeit der Bruchlinientheorie
- Durchbiegung der Mauerwerkswand im Bruchzustand  $f = 1,5 \text{ cm}$
- ideal-plastisches Werkstoffverhalten des Mauerwerks
- elastisch-plastisches Werkstoffverhalten des Bewehrungsstahles
- Kopf- und Fußbeanspruchung der Mauerwerkswand (Klaffung des gerissenen Querschnittes bis zur Schwerachse)

Bild 20 enthält eine graphische Darstellung der auf rechnerischem Wege ermittelten aufnehmbaren Traglasten  $q_H$  (bar) in Abhängigkeit der Wandauf-  
lasten  $p_H$  bis zu einer Größe von 150 kN/m bei Variation der Bewehrungs-  
grade  $\mu = 0,1 \dots 0,2 \%$

$$\mu = \frac{a_s}{b \cdot h} \cdot 100 \%$$

$a_s$     Bewehrungsquerschnitt ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )  
 $b$      Querschnittsbreite (1,0 m)  
 $h$      statische Höhe

Zu Vergleichszwecken wurde eine Kennlinie für einen entsprechenden unver-  
stärkten Wandstreifen mit eingetragen und zusätzlich Kurven für gelenkige  
Lagerung der Wand angegeben. In Anlehnung an DIN 1053 Teil 3E (Bewehrtes  
Mauerwerk) und British Standard BS 5628 wurden Grenzlinien für die Bruch-

schubspannungen  $\tau_{ou}$  von  $0,15 \text{ MN/m}^2$  und  $0,35 \text{ MN/m}^2$  unter Verwendung der bekannten Schubspannungsformeln

$$\tau_{ou} = \frac{Q_u}{b_0 \cdot z}$$

- $\tau_u$  Rechnerisch aufzunehmende Bruchschubspannung im Bruchzustand
- $Q_u$  Querkraft im Bruchzustand
- $b_0$  Querschnittsbreite
- $z$  Hebelarm der inneren Kräfte ( $z \approx 0,85 h$ )

ermittelt und in Bild 20 eingetragen.

Die Berücksichtigung einer Einspannung am Kopf- und Fußpunkt bewirkt nur eine relativ geringe Steigerung der horizontalen Traglast mit zunehmender Wandauflast gegenüber gelenkiger Lagerung. Dies ist dadurch zu erklären, daß die gewünschte traglaststeigernde Wirkung der Einspannung nur durch die Lastausmitte der mit der Mauerwerksdruckkraft im Gleichgewicht stehenden Wandauflast  $q_y$  erreicht werden kann. Die Anbringung einer Biegezugbewehrung auf der lastzugewandten Seite im Bereich der Wandauflagerungen würde hier Einspannmomente höheren Betrages bewirken. Dieser Bewehrungsaufwand und auch die Erhöhung der "Feldbewehrung" strebt hinsichtlich der Steigerung der Biegetragfähigkeit dort einer Grenze zu, wo der Bruchzustand durch Schub- oder Scherversagen im Auflagerbereich eingeleitet wird. Daher erscheint eine Erhöhung der Feldbewehrung über  $\mu = 0,2 \%$  auch bei geringen Auflasten nicht mehr sinnvoll.

Die Bilder 21 und 22 zeigen Traglastkurven für zwei nachträglich einseitig bewehrte Mauerwerkswände mit einer Mauerwerksdicke von  $d_m = 17,5 \text{ cm}$  und  $11,5 \text{ cm}$ . Es soll zweiachsiger Lastabtrag unterstellt werden, wobei eine seitliche Auflagerung und die Kopf- und Fußhalterung der Wände Einspannwirkungen zulassen.

Man erkennt durch den Vergleich dieser beiden Graphiken, daß mit abnehmender Schubfläche  $b_0 \cdot z$  Bewehrungsgehalte von mehr als  $0,1 \%$  unwirtschaftlich werden, weil nach erreichter Biegeverstärkung die Ertüchtigungsaufgabe auf das Problem eines ausreichenden Schubaufnahmevermögens verlagert wird.



### 6.3 Verstärkungsmaßnahmen von Stahlbetondecken

Die bisher diskutierten Verstärkungsmöglichkeiten können auch bei Stahlbetondecken angewandt werden. Das Maß des erforderlichen Verstärkungsgrades hängt von der Höhe der aufzunehmenden Trümmerlast der Decke bzw. von ihrem Bewehrungsgrad ab.

Da die rechnerische Lösung dieses Problems einerseits von Parametern wie

- vorhandene Bewehrungsart,
- Bewehrungsrichtung,
- Lastabtrag,
- verwendete Stahlgüte,
- Einspannverhältnissen

bestimmt wird, ihre Durchführung aber relativ einfach und die Durchführbarkeit der Einzelmaßnahmen technologisch durch vorliegende Ergebnisse von Forschungsvorhaben abgesichert ist, braucht an dieser Stelle nicht weiter auf dieses Thema eingegangen zu werden.

Es wird darauf hingewiesen, daß bei einer Entstehung von Meilerbränden auf der Deckenoberseite und der Verwendung von Strahlungsschirmen an der Deckenunterseite Temperaturen bis zu 205 °C im Bereich der Deckenverstärkungen auftreten können /4/. Aus den im Kapitel 6.2.2 geschilderten Gründen scheidet daher das Ankleben von Stahl- oder GFK-Laschen als mögliche Verstärkungsmaßnahme grundsätzlich aus.

Wirkungsvoll ist eine örtliche Unterstützung der Decke durch zusätzliche Notstützen aus Stahl oder Holz mit ausreichender Lastverteilung zur Verhinderung des Durchstanzens.

## 6.4 Schubbeanspruchung gemauerter Schutzraumwände und Besonderheiten bei der Konzeption schubfester Bauteilanschlüsse

### 6.4.1 Unbewehrtes Mauerwerk

Der in DIN 1053 Teil 1 (Entwurf Dezember 1987) und Teil 2 (Ausgabe August 1984) festgelegten Schubbemessung liegt die an einer Windscheibe formulierte Schubbruchtheorie zugrunde. Das Schubversagen einer solchen in ihrer Ebene durch eine Horizontal- und Vertikallast beanspruchten Wand, in der annahmegemäß die Stoßfugen keine Schubkräfte übertragen können, wird je nach Größe der Druckspannungen senkrecht zur Lagerfuge durch drei verschiedene Bedingungen bestimmt /20/:

1. Bei geringer Vertikalbelastung versagt das Mauerwerk in der Lagerfuge infolge Überschreitung der aufnehmbaren Reibungskräfte (erweitertes Coulomb'sches Reibungsgesetz).
2. Bei Erhöhung der vertikalen Auflastspannungen kann es vor Versagen der Lagerfuge zu einem Reißen der Mauersteine infolge schräger Hauptzugspannungen im Stein kommen.
3. Bei sehr hohen Druckspannungen versagt das Mauerwerk infolge schräger Hauptdruckspannungen.

Diese Überlegungen führten zu den folgenden in DIN 1053 Teil 2, Abschnitt 7.5, festgelegten Bemessungsvorschriften für Schubbeanspruchung im rechnerischen Bruchzustand:

$$\gamma \cdot \tau \leq \beta_{RK} + \bar{\mu} \cdot \sigma \quad (\text{Bedingung 1})$$

$$\leq 0,45 \beta_{RZ} \cdot \sqrt{1 + \sigma / \beta_{RZ}} \quad (\text{Bedingung 2})$$

$$\leq \beta_R - \gamma \cdot \sigma \quad (\text{Bedingung 3})$$

mit

$\gamma$  : Sicherheitsbeiwert

$\tau = \frac{1,5 \cdot 0}{b \cdot d}$  : Schubspannung nach Zustand I in der überdruckten Scherfläche der Breite  $b$  und Tiefe  $d$

$\beta_{RK}$  : Rechenwert der abgeminderten Kohäsion

$\bar{\mu}$  : Rechenwert des abgeminderten Reibungsbeiwertes

$\sigma$  : mittlere Auflastspannung in der überdruckten Querschnittsfläche

$\beta_R$  : Rechenwert der Mauerwerksdruckfestigkeit

$\beta_{RZ}$  : Rechenwert der Steinzugfestigkeit

Diese Bemessungsvorschrift wird in der Literatur /21/ auch auf querkraftbeanspruchte, senkrecht zu ihrer Ebene belastete Mauerwerkswände sinngemäß angewandt. In DIN 1053 Teil 2, Abschnitt 7.5, sind abgeminderte Rechenwerte für die Kohäsions- und Reibungskenngrößen angegeben, weil definitionsgemäß in gemauerten, in ihrer Ebene belasteten Windscheiben die Stoßfugen keine Querkräfte übertragen können. Diese Annahme ist auf senkrecht zur Ebene beanspruchte Wände nicht übertragbar; denn bei Verwendung DIN-formatiger Mauersteine für einsteindicke Wände sind keine Stoßfugen vorhanden.

Bei dickeren Wänden können aufgrund des Mauerwerksverbandes Stoßfugen im Inneren des Mauerwerksquerschnittes vorhanden sein. Bei überwiegend auf Biegung senkrecht zu ihrer Ebene beanspruchten Wänden treten im Bruchzustand jedoch Klaffungen auf, so daß in diesem Stadium vom Verhalten eines einsteindicken Mauerwerk auszugehen ist. Es stellt sich deshalb die Frage, ob die uneingeschränkte Anwendung des Normtextes eine wirklichkeitsnahe Berücksichtigung des Schubbruchgeschehens durch die o.g. Bemessungsformeln ermöglicht. Die Verwendung nicht abgeminderter Rechenwerte für Kohäsion und Reibungsbeiwert wäre hier sinnvoller. Weiterhin haben neuere Untersuchungen von Hofmann/Stöckl /22/ über das Haftscherverhalten der Lagerfugen von Mauerwerk ergeben, daß die in der Norm enthaltenen Werte zum Teil weit auf der sicheren Seite liegen.

Die in DIN 1053 Teil 2, Abschnitt 7.5 enthaltenen Werte von

$$\beta_{RK} = 0,18 \text{ bis } 0,25 \text{ N/mm}^2 \text{ (MG IIa und II)}$$

und  $\bar{\mu} = 0,4$

wurden durch Umrechnung auf die Versuchsrandbedingungen in /22/ abgestimmt und mit den dort festgestellten Reibungskoeffizienten und Kohäsionsspannungen verglichen. Dabei wurde beim Vergleich der Reibungskoeffizienten eine gute Übereinstimmung festgestellt; bezüglich der Kohäsionsspannung sind in DIN 1053 allerdings zu geringe Werte angegeben.

Im Gegensatz zu einer in ihrer Ebene schubbeanspruchten Mauerwerkswand sollte zur Erfassung des Schubtragverhaltens einer senkrecht zu ihrer Ebene beanspruchten Wand von folgenden Parametern ausgegangen werden:

	KS-Mauerwerk				Ziegelmauerwerk			
	Mörtelgruppe				Mörtelgruppe			
	I	II	IIa	III	I	II	IIa	III
Kohäsionsspannung $\beta_K$ [N/mm <sup>2</sup> ]	-	-	0,2	0,5	-	0,36	0,6	1,0
Reibungskoeffizient $\mu$	0,66				0,66			

**Tabelle 03:** Mechanische Kennwerte für einen Schubnachweis senkrecht zu ihrer Ebene belasteter Mauerwerkswände

Im Bild 23 sind die Auswirkungen der Verwendung unterschiedlich großer Stoffparameter auf das Ergebnis der Schubbemessung graphisch dargestellt.

Für einen 26 cm dicken, voll überdrückten Mauerwerksquerschnitt sind auf der Ordinatenachse die aufnehmbaren Horizontallasten  $p_h$  [bar] als Funktion der Auflast  $q_v$  einer 2,25 m hohen Wand beim Vorliegen eines Schubbruches als maßgebende Versagensart dargestellt. Man erkennt, daß bei der Annahme größerer Werte für  $\beta_{RK}$  und  $\bar{\mu}$  bzw.  $\beta_K$  und  $\mu$  auch die auf rechnerischem Wege ermittelte horizontale Traglast ansteigt.

Eine Berücksichtigung von Randeinspannungen (Bild 24) unter Inkaufnahme von Klaffungen des Mauerwerksquerschnittes bis zur Schwerachse führt erwartungsgemäß [rechnerisch] zu einer Verminderung der aufnehmbaren Hori-

zontallast, da nur der überdruckte Querschnittsbereich beim Schubnachweis zu berücksichtigen ist.

Für einen Mauermörtel der Gruppe I wird in der Literatur kein Kohäsionswert angegeben. Bei den in den Jahren 1986 und 1987 an der TU Braunschweig auf Biegung und Normalkraft untersuchten Wänden mit einer Mörtel-druckfestigkeit von  $\beta_{D,m\ddot{o}} = 0,4 \text{ N/mm}^2$  (MG I) wurden durchweg keine Schubbrüche festgestellt, obwohl beim Ansatz der in DIN 1053 Teil 2 enthaltenen Eingangsparameter der erweiterten Coulomb'schen Reibungsgleichung die aufnehmbaren Schubbruchspannungen rechnerisch überschritten waren. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, daß die Normwerte auf der sicheren Seite liegen. Weitere Laboruntersuchungen könnten hier zu der Ermittlung wirklichkeitsnaher Eingangsparameter führen.

#### 6.4.2 Schubbeanspruchung von mit Betonstahlmatten und Stahllaschen nachträglich bewehrtem Mauerwerk

DIN 1053 Teil 3 "Bewehrtes Mauerwerk" ermöglicht eine Schubbemessung von auf Plattenbiegung beanspruchten bewehrten Mauerwerks in enger Anlehnung an DIN 1045, Abschnitt 17.5. Demnach errechnet sich die maßgebende Schubspannung  $\tau_0$  nach Zustand II für den Gebrauchszustand zu

$$\tau_0 = \frac{Q}{b_0 \cdot z}$$

mit

- Q     Querkraft im maßgebenden Querschnitt
- $b_0$      geneigte Querschnittsbreite unterhalb der Spannungsnulllinie
- z     Hebelarm der inneren Kräfte  $z = 0,85 \dots 0,74 \cdot h / 24$

Die Angabe zuverlässiger Grenzen aufnehmbarer Schubbeanspruchungen von mit Betonstahlmatten nachträglich bewehrtem Mauerwerk ist sehr schwierig, da der Fachliteratur keine direkten Angaben zu entnehmen waren und eigene Untersuchungen hierzu bisher nicht durchgeführt worden sind. Aus diesem Grunde sind die Ergebnisse ähnlicher experimenteller Studien mittelbar auf die hier angesprochenen Problemstellungen zu beziehen. Diese werden im folgenden zusammenfassend wiedergegeben:

- 1.) Zur Erfassung der Schubtragfähigkeit von Mauerwerk wurden von Martin und Sager /23/ Untersuchungen an bewehrten Plattenstreifen verschiedener Mauerwerksarten durchgeführt und daraus Schubspannungsgrenzen  $\tau_{011}$  für den Gebrauchszustand in Abhängigkeit von den Mauerwerksklassen abgeleitet (Tabelle 04). Naturgemäß liegen diese Werte, abgesehen von denjenigen für die höchste Festigkeitsklasse, unterhalb der  $\tau_{011}$ -Werte für Stahlbeton: Die schiefen Hauptspannungen aus dem Platten Schub verlaufen durch die Fugen des Mauerwerks, die im Vergleich zu Stahlbetonbauteilen als "Schwachstellen" einzustufen sind und daher die Steine beanspruchen. Dies muß sich bei kreuzweisem Lastabtrag und besonders bei gelochten Steinen negativ auswirken, weil bei Druckbeanspruchung quer zur Lochrichtung die Mauerwerksdruckfestigkeit geringer ist.

	1	2
	Mauerwerksfestigkeitsklasse M	$\tau_{011}$ MN/m <sup>2</sup>
1	2,5	0,04
2	3,5	0,05
3	5	0,07
4	6	0,08
5	7	0,09
6	9	0,12
7	11	0,14
8	13	0,17
9	16	0,21
10	20	0,26
11	25	0,32

Tabelle 04: Grenzen der Grundwerte der Schubspannung  $\tau_{011}$  in MN/m<sup>2</sup> von bewehrtem Mauerwerk unter Gebrauchslast

- 2.) Im Vergleich zu Versuchsergebnissen aus angelsächsischen Ländern /25/ sind die in DIN 1053 Teil 3 (Entwurf 1987) angegebenen  $\tau_{011}$ -Werte als gering einzustufen. Man verwendet dort in aller Regel Vollsteine und konstruiert Wände, die als Mischkonstruktionen zwischen Stahlbeton und Mauerwerk einzustufen sind. Ein ähnliches Tragverhalten ist bei nachträglich bewehrten Mauerwerkswänden zu erwarten, weil auf Mauerwerksflächen aufgetragene Beschichtungen einen Mörtel erfordern,

der den mechanischen Eigenschaften von Beton entspricht. In British Standard BS 5628 wird für Mörteldruckfestigkeiten des Mauerwerks von  $6,5 \text{ N/mm}^2$  bis  $16 \text{ N/mm}^2$  (entspricht etwa Mörtelgruppe IIa bis IIIa nach DIN 1053 Teil 2) ein Rechenwert der Bruchschubspannung  $f_v$  von  $0,35 \text{ N/mm}^2$  angenommen. Eine direkte Vergleichbarkeit mit den  $\tau_{011}$ -Werten der DIN 1053 Teil 3 wird dadurch erschwert, daß BS 5628 mit Teilsicherheitsbeiwerten von auf der Last- und Materialseite operiert. Vereinfachend soll im folgenden von einem globalen Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 2,0$  ausgegangen werden, so daß die Bruchschubspannung  $f_v$  mit einem  $\tau_{011}$  von  $0,175 \text{ N/mm}^2$  vergleichbar ist. Dies entspricht etwa einer Mauerwerksklasse M 13.

- 3.) Bei der Prüfung von scheitrecten Ziegelstürzen wurden bei Ziegeldruckfestigkeiten von  $\beta_{D,St} = 15 \text{ N/mm}^2$  bis  $30 \text{ N/mm}^2$  und Mörteldruckfestigkeiten  $\beta_{D,mw} = 16 \text{ N/mm}^2$  bis  $22,5 \text{ N/mm}^2$  Bruchschubspannungen bei Schubslankheiten  $\lambda = l/4h = 3$  in einer Größenordnung von

$$\tau_{ou} = 0,48 \text{ bis } 0,6 \text{ N/mm}^2$$

festgestellt /27/.

Aufgrund dieser aus der Literatur entnommenen Eingrenzungen aufnehmbarer Schubbeanspruchungen in Abhängigkeit der Mauerwerksdruckfestigkeit soll bei den weiteren Betrachtungen von Schubbruchspannungsgrenzen von

$$\tau_{ou} = 0,15 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mörtelgrupe I und II) bzw.}$$

$$\tau_{ou} = 0,35 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mörtelgrupe IIa, III und IIIa) .}$$

ausgegangen werden; weitere eingehende Untersuchungen werden für notwendig gehalten. In den Bildern 13, 14 und 20...22 sind für die maximal aufnehmbaren Horizontalbeanspruchungen von einachsig und zweiachsig lasttragenden 2,25 m hohen Wänden diese Bruchschubspannungsgrenzen mit eingetragen. Man erkennt, daß bei mit Betonstahlmatten nachträglich bewehrten Wänden eine Steigerung des Bewehrungsprozentsatzes über  $\mu = 0,15 \%$  nicht mehr sinnvoll ist, da die obere Bruchschubspannungsgrenze überschritten wird.

Da die Schubtragfähigkeit von mit Stahllaschen bewehrtem Mauerwerk unter anderem von der Haftzugfestigkeit der Laschen auf Mauerwerk und der bislang nicht bekannten Klebeverbundspannung abhängt, ist die Anwendung der

o.g. Schubspannungsgrenze auf diese Verstärkungsmaßnahme mit großen Unsicherheiten behaftet.

#### 6.4.3 Besonderheiten bei der Konzeption schubsteifer Bauteilanschlüsse

Die Konstruktion eines schubfesten Bauteilanschlusses ist auf die grundlegenden Randbedingungen abzustimmen wie Größe der Auflast und Querkraft sowie Größe der auftretenden Restzugkraft in Abhängigkeit der Zugkraftlinie im Auflagerbereich.

Bei unbewehrten oder durch faserbewehrte Spritzmörtelschichten flächig ertüchtigten Mauerwerkswänden ist nachzuweisen, daß die Querkraft durch Reibung und Kohäsion in der Anschlußfuge zwischen Wand und Decke aufgenommen werden kann. Bei fehlender Auflast können geringe Horizontaldrücke  $p_h$  aufgenommen werden.

Durch Stahllaschen oder Betonstahlmatten mit einer Spritzmörtelschicht ertüchtigte Mauerwerkswände sind neben dem Nachweis der aufnehmbaren Querkräfte auch für die Aufnahme einer Restzugkraft

$$F_{SR} = Q \cdot v/h + N$$

mit

- Q    auftretende Querkraft in der Auflagerlinie
- v    Versatzmaß,  $v = 1,0$  h
- h    statische Höhe
- N    Normalkraft (=  $q_V$ : Auflast)

unter Berücksichtigung des Verlaufs der Zugkraftlinie im Auflagerbereich zu bemessen. Detaillierte Konstruktionsvorschläge hierzu sind den Bildern 12 und 19 zu entnehmen. Die äußeren Abmessungen der Anschlußbauteile sind in einem statischen Nachweis zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, daß die Restzugkraft durch eine vorhandene Auflast stark abnehmen kann. Auch wenn die Querkraft allein durch Reibung und Kohäsion im Knotenpunkt aufgenommen werden könnte, sollte die Endverankerung mindestens nach "konstruktiven" Gesichtspunkten dimensioniert werden.



Bei Verwendung von Pfeilervorlagen zur Erzielung eines kreuzweisen Lastabtrages der Horizontallast  $p_h$  ist stets eine Anschlußkonstruktion im Kopf- und Fußpunkt der Stahlbetondecke bzw. Sohlplatte erforderlich, denn beim Ausfall der aussteifenden Wirkung der Pfeilervorlage vermindert sich die aufnehmbare horizontale Traglast erheblich; ein Kollaps der auf kreuzweisen Lastabtrag bemessenen Schutzraumwand wäre die Folge.

Gemauerte Pfeilervorlagen haben den Nachteil, daß ihre Anschlußflächen gerade bei geringer oder fehlender Auflast und niedrigfestem Mauermörtel Schubspannungen nur in geringer Größenordnung übertragen können. Daher bieten sich insbesondere Stahlträger als Wandaussteifungen an. Diese sollten aus einbautechnischen Gründen ca. 4 cm kürzer sein als der Kellerraum im Lichten hoch ist. Die Differenz kann später durch ein Polster aus quellfähigem Fließmörtel ausgeglichen werden. Als Verbindungsmittel zwischen Stahlträger und Stahlbetondecke sind Schwerlastdübel, nicht aber Verbunddübel zu verwenden, da bei Temperaturbeanspruchung die Verbundwirkung zwischen Reaktionsharzmörtel, Stahldübel und Verankerungsuntergrund erheblich reduziert werden kann.

Nachträglich angebrachte Stahlbetonstützen als Queraussteifungen gemauerter Wände können an ihren Enden durch Andübelung von mit stumpf aufgeschweißten Betonstählen versehenen Kopf- und Fußplatten mit der Decke bzw. Sohle verankert werden. Die Verbindung der Betonstähle der Kopf- und Fußplatten mit der Bewehrung der Stütze geschieht über einen Übergreifungsstoß gemäß DIN 1045, Abschnitt 18.6. Bild 09 zeigt Konstruktionsdetails und nähere Angaben hierzu.

### 6.5 Berücksichtigung von Öffnungen

Öffnungen in Schutzraumwänden sind als Notausstieg oder Zugang zum Schutzraum erforderlich.

Notausstiege müssen gemäß den Bautechnischen Grundsätzen für Hausschutzräume des Grundschutzes, Abschnitt 4.5 ff im Lichten mindestens  $0,9 \times 1,0 \text{ m}^2$  groß sein. Türöffnungen in vorhandenen Kellerräumen haben in den meisten Fällen ein Öffnungsmaß von  $0,885 \text{ m} \times 2,01 \text{ m}$ . Bei lichten Kellerhöhen

von 2,25 m (Straubinger Modell) ist davon auszugehen, daß bei horizontaler Beanspruchung ein Lastabtrag über Querwände der betrachteten Wand nicht mehr möglich ist /28/. Durch eine Türöffnung ergeben sich zwei statisch unabhängig voneinander wirkende Wandhälften, deren horizontale, senkrecht zu ihrer Ebene wirkende Beanspruchung über eine dreiseitige Lagerung am Kopf- bzw. Fußende und eine Querwand abgeleitet wird. Im Falle einer nicht verstärkten Türleibung ergibt sich hier ein freier Rand (Bild 05).

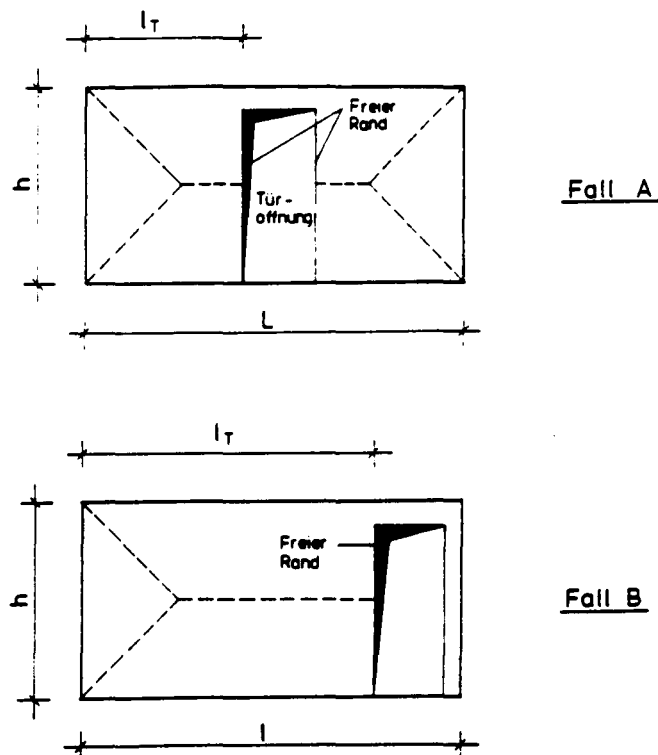
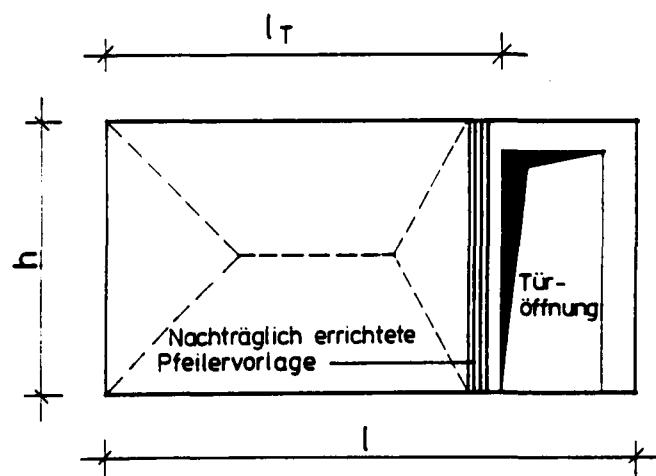


Bild 05: Vereinfachte Bruchlinien-Figuren unverstärkter Schutzraumwände mit Türöffnungen

Bei der Auswahl von Kellerräumen für den nachträglichen Ausbau zu Schutzräumen sind solche vorzuziehen, deren Wände Türöffnungen enthalten, die nicht - wie in Fall B des Bildes 05 - ausmittig an einem Ende der Wand angeordnet sind. Bei Seitenverhältnissen  $l_T/h > 1,5$  ist zu erwarten, daß sich ein einachsiger Lastabtrag einstellen wird, welcher bekanntlich deutlich geringere horizontale Traglasten zuläßt als der anzustrebende kreuzweise, plattenartige Lastabtrag. In /27/, Abb. 67, sind Größenordnungen aufnehmbarer Traglasten unverstärkter Mauerwerkswände mit Türöffnungen angegeben.

Deshalb ist bei einer nachträglichen Verstärkung von gemauerten Schutzraumwänden mit Türöffnungen anzustreben, den durch die Öffnung gestörten kreuzweisen Lastabtrag wieder herzustellen oder die Tragfähigkeit der Teilwände neben der Tür zu erhöhen. Ersteres kann durch die Anbringung einer Pfeilervorlage entlang der seitlichen Türbegrenzung erreicht werden (Bild 06). Hinsichtlich der Abmessungen der Pfeilervorlagen gelten die Ausführungen des Abschnittes 6.2.1. Diese Verstärkungsmaßnahme ist vorzugsweise bei ausmittig angeordneten Türöffnungen anzuwenden.



**Bild 06:** Vereinfachte Bruchlinienfigur einer durch eine Pfeilervorlage verstärkten Schutzraumwand mit Türöffnung

Bei Kellerinnenwänden mit in der Mitte angeordneten Türöffnungen ist vorzugsweise eine flächige Wandverstärkung, z.B. durch die Anbringung einer betonstahlbewehrten Spritzmörtelschale, vorzunehmen. Dadurch wird das statische System einer dreiseitig gelagerten Wand mit einem freien Rand nicht verändert; die traglaststeigernde Wirkung der Verstärkungsmaßnahme ist auf die Vergrößerung der Biegezugfestigkeit der Mauerwerkswand ausgerichtet.

Die Bilder 25 und 26 zeigen die aufnehmbaren horizontalen Traglasten von dreiseitig gelagerten 17,5 cm dicken Wänden mit einem freien Rand und unterschiedlichen Längen/Höhenabmessungen in Abhängigkeit der vorhandenen Auflast  $q_y$ . An ihren Kopf- und Fußenden wurde eine Einspannung angenommen.

men, welche durch die maximal erreichbare Exzentrizität der Biegedruckkraft vom Querschnittsschwerpunkt gebildet wird. Dabei wurde Klaffen des Mauerwerks bis zur Schwerachse unterstellt. Bezüglich der Berechnungsgrundlagen wurden die Annahmen der Bruchlinientheorie zugrunde gelegt. Als Verstärkungsmaßnahme wurde eine nachträglich aufgebrachte betonstahlbewehrte Spritzmörtelschale von jeweils 3,5 cm mit einem Bewehrungsprozentsatz von  $\mu = 0,1 \%$  auf ihre traglaststeigernde Wirkung hin rechnerisch untersucht.

Man erkennt, daß erwartungsgemäß mit abnehmendem Verhältnis  $l/h$  die Traglasten sowohl verstärkter als auch unverstärkter Wände ansteigen.

Zu Vergleichszwecken wurden folgende Fälle in den Diagrammen unterschieden:

Fall 1: unverstärkte Mauerwerkswand

Fall 2: mit unbewehrter Spritzmörtelschale verstärkte Mauerwerkswand

Fall 3: mit betonstahlgewebebewehrter Spritzmörtelschale verstärkte Mauerwerkswand

Die hieraus zu entnehmenden horizontalen Traglasten bei einer vorhandenen Auflast von  $q_v = 150 \text{ kN/m}$  sind in der Tabelle 05 zusammengestellt.

Seitenverhältnis $\varepsilon = l/h$	Horizontale Traglasten $p_h$ [bar] bei $q_v = 150 \text{ kN/m}$ *)			Traglaststeigerung	
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	$\frac{\text{Fall 2}}{\text{Fall 1}}$	$\frac{\text{Fall 3}}{\text{Fall 1}}$
0,84	0,28	0,44	0,95	1,57	3,39
1,6	0,26	0,41	0,77	1,58	2,96
Traglaststeigerung als Funktion der Seitenverhältnisse [%]	7,7	7,3	23,2	---	

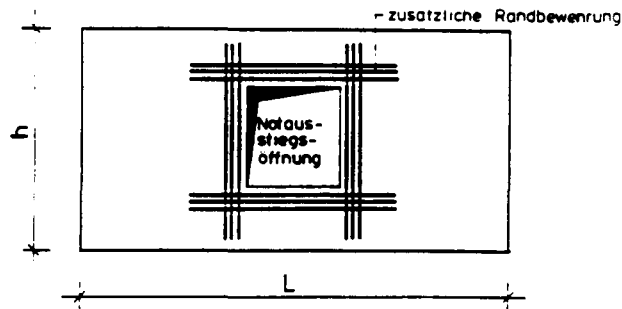
\*) aus Bildern 25 und 26

Tabelle 05: Vergleich horizontaler Traglasten verstärkter und unverstärkter dreiseitig gelagerter Wände bei Variation des Seitenverhältnisses  $\varepsilon = l/h$

Es wird deutlich, daß mit Betonstahlgewebe bewehrte Spritzmörtelschalen (Fall 3) die höchste Traglaststeigerung ermöglichen.

Dies ist dadurch zu erklären, daß unbewehrte Spritzmörtelschichten lediglich eine Querschnittsvergrößerung bewirken, die stark unterschiedlichen Orthotropieeigenschaften aber erhalten bleiben. Bewehrte Spritzmörtelschichten bewirken die Berücksichtigung von Biegezugfestigkeiten gleicher Größe in x- und y-Richtung, was die Effektivität dieser Verstärkungsmaßnahmen erhöht. Ihre Wirksamkeit verringert sich allerdings mit zunehmendem Seitenverhältnis. Deshalb sollten bei großen Seitenverhältnissen  $\varepsilon = l/h$  Pfeilervorlagen an den Türleibungen angebracht werden, um hier eine zusätzliche Lagerungsmöglichkeit der zu ertüchtigenden Wand zu schaffen. Bei Seitenverhältnissen kleiner eins ist dagegen eine flächige Wandverstärkung zu bevorzugen.

Notausstiege der in den Bautechnischen Grundsätzen beschriebenen Abmessungen sollten vornehmlich in Kelleraußenwänden angeordnet werden, damit ggf. Personen im Erstfall schneller das zerstörte oder beschädigte Gebäude verlassen können. Kellerwände sind im Regelfall dicker (30...36,5 cm) als Innenwände. Daher ist für die Randbereiche der Notausstiegsöffnungen in Außenwänden ein geringerer Verstärkungsaufwand erforderlich. Bei Verstärkung einer solchen Mauerwerkswand mit baustahlbewehrten Spritzmörtelschichten wird empfohlen, die Randbereiche der Notausstiegsöffnungen zusätzlich mit einer "kräftigen" Randeinfaßbewehrung zu bewehren (Bild 07).



**Bild 07:** Randeinfaßbewehrung betonstahlbewehrter Spritzmörtelschalen in Kellerwänden mit Notausstiegsöffnungen

## 7.0 Haftversuche zur Ermittlung der Verbundfestigkeit zwischen Spritzmörtel und Mauerwerk

### 7.1 Allgemeines

Aus Vorversuchen ist bekannt, daß die Wirksamkeit von betonstahlbewehrten Wandbeschichtungen, z.B. aus kunststoffmodifizierten Spritzmörteln, zur Erhöhung der Biegetragfähigkeit von Mauerwerkswänden von den Verbundeigenschaften zwischen Mauerwerk und Beschichtungsmaterial in ihrer Kontaktfläche abhängt. Ein Versagen des Verbundes der Bewehrung in der Vorsatzschale ist nicht zu erwarten; denn kunststoffmodifizierter Spritzmörtel können gleiche Nennfestigkeiten aufweisen wie Stahlbeton. Deshalb ist davon auszugehen, daß unter sonst vergleichbaren Bedingungen auch ähnlich hohe Verbundspannungen zwischen PCC-Mörteln und Baustahlbewehrungen erreicht werden. Vergleichsrechnungen haben ergeben, daß die Kontaktfläche zwischen Mauerwerk und Beschichtungsmaterial in statischer Hinsicht als das "schwächere Glied" einzustufen ist.

Aus diesem Grund war in erster Linie das Haftzug- und Haftscherverhalten zwischen Mauerwerk und Beschichtung zu studieren.

## 7.2 Haftzugfestigkeitsprüfungen kunststoffmodifizierter Mörtelbeschichtungen auf Mauerwerk

Zur Ermittlung der Haftzugfestigkeiten wurden 9 Grundkörper aus Kalksandsteinen 1 NF und reichsformatigen Mauerziegeln mit den Abmessungen b/d/h = 0,51/0,125/0,615 cm (Mz - RF) bzw. 0,49/0,115/0,67 cm (KS - NF) aufgemauert. Die Druckfestigkeit des Mauermörtels entsprach den Anforderungen der Mörtelgruppe I. Zur Herstellung der 5 cm dicken Vorsatzschale wurden PCC-Mörtel im Handeinbau und im Naßspritzverfahren sowie zu Vergleichszwecken Zementputz auf die Oberfläche der Mauerwerkskörper aufgebracht. Tabelle 06 enthält die mechanischen Kennwerte der Ausgangsmaterialien Mauersteine, Mauermörtel und PCC-Mörtel.

Mechanischer Kennwert	Mauerwerk			Vorsatzschale		
	Mauerstein		Mauermörtel	PCC-Mörtel		Zementmörtel
	KS	Mz-RF		(Handeinbau)	(Naßspritzverfahren)	(Handeinbau)
Bezeichnung	KS 12-2,0 NF	Mz 12-1,9 RF	Mörtelgruppe: I	Mörtel A	Mörtel B	P III b
Rohdichte (kg/dm³)	2000	1800	1760	2100	2141	2022
Druckfestigkeit (N/mm²)	12,0	12,0	0,41	59,8	37,7	28,6
Zentr. Zugfestigkeit (N/mm²)	1,9	2,1	/	4,96	3,95	/
E-Modul (N/mm²)	/	/	/	$27,3 \cdot 10^9$	$27,5 \cdot 10^9$	/

Tabelle 06: Mechanische Kennwerte der Prüfkörper zur Ermittlung von Haftzugfestigkeiten

Die Polymerkomponente des PCC-Mörtels war dem Anmachwasser als Dispersionsflüssigkeit hinzuzugeben.

Die 18 Mauerwerksoberflächen der 9 Grundkörper gestatteten eine Variation der folgenden Ausgangsparameter:

- Untergrundvorbehandlung:
  - Sandstrahlen
  - Reinigen mit der Topfbürste
  - keine Vorbehandlung
- Haftbrücke:
  - keine
  - Spritzbewurf aus Zementmörtel P III b
  - mineralische Haftbrücke, gebürstet
  - Haftbrücke, gespritzt

- Anbringung der Vorsatzschale: Handeinbau  
Naßspritzverfahren,  
Druckluftzufuhr 3 bar  
Naßspritzverfahren,  
Druckluftzufuhr 6 bar
- Material der Vorsatzschale: PCC-Mörtel A  
PCC-Mörtel B  
Zementputz
- Steinmaterial des Mauerwerks: Hz 12-1,8 (RF)  
KS 12-2,0/NF

Sämtliche Fugen der Mauerwerkskörper waren zur Verbesserung der Haftgrundeigenschaften ca. 1 cm tief ausgekratzt worden. Die Zuordnung aller Varianten der genannten Parameter bezogen auf die unterschiedlichen Prüfkörper und -oberflächen ist Tabelle 07 zu entnehmen.

Grundkörper			Untergrundvorbehandlung			Haftfläche			Mörtelaufbringung			Material der Vorsatzschale		
Nr.	Seiten- Bez.	Stein- mater.	keine Topfkruste	Sand- strahlen	keine Spritz- bzw.	Haftfläche		Handein- bau	Naßspritzverfahren		Zementputz d = 2 cm	PCC-Mörtel d = 5 cm		
						ge- kratzt	ge- spritzt		Druckluft 3 bar	Druckluft 6 bar		Mörtel A	Mörtel B	
1	1.1 1.2	Mauerziegel 12 - 1,8 (Reichsformat)		X X	X X				X				X X	
2	2.1 2.2			X X			X X		X				X X	
3	3.1 3.2			X	X		X X	X X					X X	
4	4.1 4.2			X X		X X			X				X X	
5	5.1 5.2			X X				X X		X				X X
6	6.1 6.2		X X			X X		X X				X X		
7	7.1 7.2		X X				X X		X X	X				X X
8	8.1 8.2		KS 12-2,0 NF	X X			X			X X				X X
9	9.1 9.2			X X				X		X X				X X

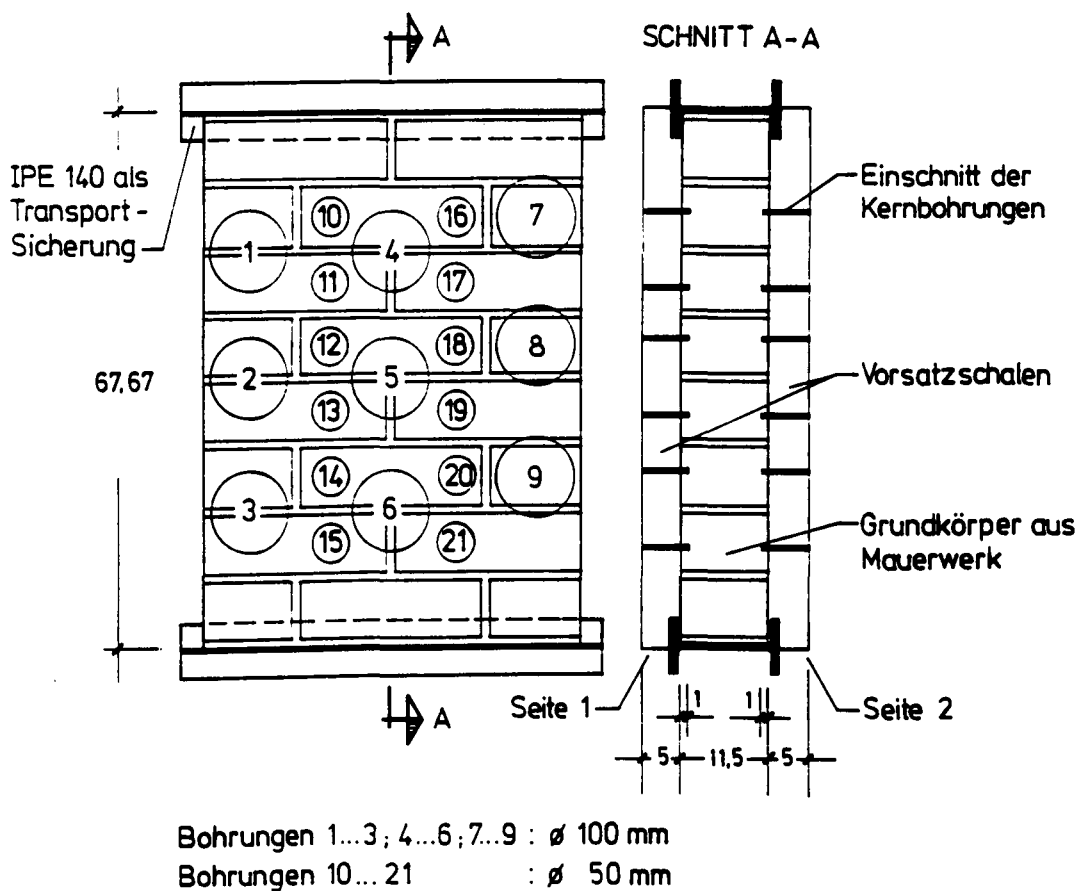
Tabelle 07: Versuchskörper zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit



Wie in Bild 08 dargestellt, wurden Kernbohrungen  $\varnothing 100$  mm und  $\varnothing 50$  mm durch die Vorsatzschalen hindurch bis 1 cm tief in das Mauerwerk gebohrt. Um den Einfluß der Fugen auf die Haftzugfestigkeit zu erfassen, wurden die Bohrstellen







- auf dem Mauerstein
- im Bereich einer Lagerfuge
- im Bereich zweier paralleler Lagerfugen und
- in einem Fugenkreuz

angeordnet.



**Bild 08:** Bohrbild der Kernbohrungen für Haftzugprüfungen

Danach wurden Stahlplatten mit einer Dicke von 3 cm und einem entsprechenden Durchmesser auf die so entstandenen, noch mit der Mauerwerkinnenschale verbundenen Bohrkerne geklebt und nach der Aushärtung des Epoxidharzklebers die Haftzugprüfungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Haftzugprüfungen sind in Tabelle 08 zusammengefaßt. Mit Ausnahme des

Prüfkörper		Mittelwerte der Haftzugfestigkeiten [N/mm <sup>2</sup> ]							
		unter Einbezug der Fugenfläche			nach Abzug der Fugenfläche			Mittelwert	Prüfstellen
Nr.	Seite	Prüfstelle 1...3 	Prüfstelle 4...6 	Prüfstelle 7...8 	Prüfstelle 1...3 	Prüfstelle 4...6 	Prüfstelle 7...9 	1...9 Ø 100	10...21 Ø 50
1	1.1	0,76	0,93	0,56	0,87	1,27	0,66	0,93	1,49
	1.2	0,99	1,00	1,16	1,14	1,24	1,43	1,27	1,37
2	2.1	1,07	0,90	1,07	1,23	1,20	1,31	1,25	1,36
	2.2	1,05	1,14	1,06	1,19	1,57	1,19	1,32	1,71
3	3.1	0,96	0,95	0,96	1,10	1,19	1,14	1,14	1,04
	3.2	1,06	1,05	0,97	1,23	1,40	1,04	1,22	1,46
4	4.1	0,78	1,07	1,07	0,92	1,39	1,17	1,16	1,29
	4.2	1,14	0,98	1,20	1,27	1,15	1,39	1,27	1,38
5	5.1	0,99	1,19	0,83	1,14	1,45	0,93	1,17	1,29
	5.2	0,92	1,26	0,98	1,02	1,53	1,12	1,22	1,51
6 <sup>1)</sup>	6.1	0,21	0,57	0,18	0,24	0,74	0,22	0,40	0,67
	6.2	0,40	0,63	0,36	0,47	0,77	0,44	0,56	0,72
7	7.1	0,28	-	0,30	0,32	0,37	0,36	0,35	0,67
	7.2 <sup>2)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
8	8.1								
	8.2			Ergebnisse liegen noch nicht vor					
9	9.1 <sup>2)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
	9.2	1,09	0,99	1,25	1,22	1,32	1,56	1,07	1,72

1) Vorsatzschale aus Zementputz P III b: Sämtliche Bohrkern in Kontaktfläche Mauerwerk - Vorsatzschale abgerissen

2) Haftzugprüfungen konnten nicht durchgeführt werden, da sich die Vorsatzschale von der Mauerwerksoberfläche abgelöst hatte

**Tabelle 08: Ergebnisse von Haftzugprüfungen**

Zementputz-beschichteten Versuchskörpers 6 trat der Bruch immer in der Mauerwerksinnenschale ein. Daher können die Auswirkungen unterschiedlicher Versuchsparameter nicht getrennt bewertet werden.

Wenngleich das die Haftverbundeigenschaften vergrößernde Auskratzen der Fugen sehr aufwendig ist, wird es für notwendig gehalten, vor der Anbringung von PCC-Beschichtungen zumindest die Mauerwerksoberflächen durch Sandstrahlen oder Abschleifen mit einer Topfbürste gründlichst von allen Putzresten oder losem Steinmaterial zu säubern. Auf eine Haftbrücke bei der Verwendung von PCC-Spritzmörtelbeschichtungen kann verzichtet werden, da sich auf der gründlich vorzunässenden mattfeuchten Mauerwerksoberfläche beim Auftreffen des Spritzmörtels eine Schlämme bildet, die eine ausreichende Untergrundhaftung ermöglicht. Dies wurde durch die stets im Mauerwerk auftretenden Trennbrüche bestätigt.

Die Haftzugfestigkeiten betrugen an Bohrstellen in ungestörten Mauersteinbereichen

$$1,04 \dots 1,72 \text{ N/mm}^2$$

und im Bereich von Fugen oder Fugenkreuzen, nach Abzug der Fugenflächen,

$$0,93 \dots 1,37 \text{ N/mm}^2.$$

Beschichtungen aus reinem Zementputz werden als Bauteilergänzungen für ungeeignet gehalten, da ihr Haftverbund auf Mauerwerk als zu gering einzustufen ist.

### 7.3 Haftscherfestigkeitsprüfungen kunststoffmodifizierter Mörtelbeschichtungen auf Mauerwerk

Zur Durchführung von Haftscherfestigkeitsprüfungen wurden zunächst 10 Grundkörper aus Vollziegel- bzw. Kalksandsteinmauerwerk aufgemauert und nach Auskratzen der Fugen bis zu einer Tiefe von 1 cm beidseitig mit einer 3 cm dicken Vorsatzschale aus

- Zementputz
- spritzfähigem PCC-Mörtel und
- im Handeinbau aufzubringendem PCC-Mörtel

beschichtet. Weiterhin wurden variiert

- Untergrundvorbehandlung:
  - Reinigen mit der Topfbürste
  - keine Untergrundvorbehandlung
- Haftbrücke:
  - keine
  - Spritzbewurf aus Zementmörtel P III b
  - mineralische Haftbrücke, eingebürstet
- Anbringung der Vorsatzschale:
  - Handeinbau
  - Naßspritzverfahren

Eine Zuordnung der aufgeführten Variationen zu den einzelnen Prüfkörpern ermöglicht die Tabelle 09.

Grundkörper			Untergrundvorbehandlung		Haftbrücke			Mörtelaufbringung		Material der Vorsatzschale		
Pos.	Stein- art.	Mauer- mörtel	keine	Topfbürste	keine	Spritz- bewurf	Haftbrücke gebürstet	Handein- bau	Naßspritzverfahren	Zementputz d = 3 cm	PCC-Mörtel	
											Mörtel A	Mörtel B
RS 1	HZ	Mörtelgruppe I: $f_{p,0.0} = 0,55 \text{ N/mm}^2$	X			X		X		X		
RS 2	KS		X			X		X		X		
RS 3	HZ		X		X				X			X
RS 4	KS		X		X				X			X
RS 5	HZ			X			X		X			X
RS 6	KS			X			X		X			X
RS 7	HZ			X	X				X			X
RS 8	KS			X	X				X			X
RS 9	HZ		X				X	X			X	
RS 10	KS		X				X	X			X	

Tabelle 09: Versuchskörper zur Ermittlung der Haftscherfestigkeit

Die baustofflichen Kennwerte der Grundkörper und Beschichtungsmaterialien waren die gleichen wie die der für die Haftzugprüfungen erstellten Versuchskörper. Es wird daher auf die im Abschnitt 7.2 zitierte Tabelle 06 verwiesen.

Nach einer Erhärtungszeit des Beschichtungsmörtels von 28 Tagen wurden aus jedem der 10 Grundkörper jeweils 4 Einzelscherkörper geschnitten (Bild 27) und in einem Prüfstand die Haftscherfestigkeiten senkrecht und parallel zur Lagerfuge des Mauerwerksuntergrundes sowie die Verschiebungswege zwischen Innen- und Außenschale gemessen (Bild 28).

Aufgrund technischer Schwierigkeiten war es nicht möglich, die Prüfung der Haftscherfestigkeit an den vorgenannten Prüfkörpern termingerecht abzuschließen. Die Prüfergebnisse können daher erst im Folgebericht mitgeteilt werden.

### 8.0 Beispielhafte Bewertung von Verstärkungsmaßnahmen für einen charakteristischen Einzelfall

Anschließend sollen die im Abschnitt 6.0 dieses Berichtes vorgestellten konstruktiven Einzelmaßnahmen zur Ertüchtigung der Umfassungsbaueile eines fiktiven, aber als "typisch" einzustufenden gemauerten Kellerraumes bewertet werden. Die charakteristischen Einzelmerkmale werden wie folgt beschrieben:

#### Kelleraußenwand:

Steinmaterial:	Kalksandsteine (DIN-Format) Vollziegel (Reichsformat RF)
Dicke:	36,5 cm (DIN-Format) 39,5 cm (Reichsformat)

#### Kellerinnenwand:

Steinmaterial:	Kalksandsteine (DIN-Format) Vollziegel (Reichsformat RF)
Dicke:	≤ 17,5 cm (DIN-Format)

<u>Kellerdecke:</u>	Stahlbeton, d = 16 cm
<u>Lichte Kellerhöhe:</u>	2,25 m
<u>Kellersockelhöhe:</u>	30 cm
<u>Tür zum Kellerraum:</u>	b/h = 88 <sup>5</sup> /2,01 cm
<u>Kellersohle:</u>	Stahlbeton d = 15 cm

Hinsichtlich der Grundfläche und Volumen ermöglicht der beschriebene Kellerraum die Einrichtung von Schutzplätzen für 15 Personen. Die o.g. typischen Merkmale sind in den Grundriß- und Schnittzeichnungen des Bildes 29 zusammengefaßt.

Als Bewertungskriterium der Ertüchtigungsmaßnahmen waren die Aspekte

- mechanische Wirksamkeit
- handwerkliche Durchführbarkeit
- Verhalten bei Temperaturbeanspruchung von der Schutzraumaußenseite her
- erforderlich werdenden Bauteilanschlußkonstruktionen
- Baukosten
- räumliche Gegebenheiten

zu untersuchen.

In der Tabelle 10 wird ein Beurteilungssystem für Verstärkungsmaßnahmen von Wänden und Decken vorgestellt. Hierin sind alle vorgenannten Bewertungskriterien enthalten, und eine Beurteilung der in diesem Bericht vorgestellten Ertüchtigungsmaßnahmen ist vorgenommen worden.

Gemauerte Wände sollen nach ihrer Ertüchtigung auch ohne Auflast eine horizontale Traglast von 0,36 bar im Bruchzustand aufnehmen können. Verstärkungsmaßnahmen von Decken müssen dazu führen, daß diese danach eine Trümmerlast von 10 kN/m<sup>2</sup> im Gebrauchszustand aufnehmen können.

In bezug auf das Kriterium "handwerkliche Durchführbarkeit" war zu beurteilen, ob die jeweils zu betrachtende Verstärkungsmaßnahme von durchschnittlich geschulten Fachkräften ausgeführt werden kann.

**Tabelle 10:** Beurteilung ausführungsfreundlicher Ertüchtigungsmaßnahmen zur Verstärkung von Schutzraumumfassungsbauteilen

Bauteil	Verstärkungsmaßnahme	mechanische Wirksamkeit <sup>1)</sup>			Handwerkliche Durchführbarkeit			Beeinflussung bei Temperatureinwirkung			Baukosten /m² Schutzraum		mögliche oder notwendige Bauteilanschlüsse				GESAMTURTEIL <sup>3)</sup>		
		Ja	Nein	Urteil <sup>2)</sup>	einfach	aufwendig	Urteil <sup>2)</sup>	gering	stark	Urteil <sup>2)</sup>	Preis [DM]	Bewertung <sup>2)</sup>	ja	nein	teilweise	Urteil <sup>2)</sup>	1	2	3
Mauerwerkwände	Pfeiler-vorlagen	Stahlbeton	x		+++	x		+	x		+++	152,--	+	x			+	x	
		Stahl	x		++	x		++	x		++	125,--	++	x			+	x	
		Mauerwerk	x		+	x		+++	x		+++	50,--	+++	x			-	x	
	Flächige Wandverstärkung	Stahllaschen	x		++		x	-		x	--	290,--	++	x			-		x
		GFK-Laschen	x		++		x	-		x	--	390,--	++	x			-		x
		Unbewehrte Spritzmörtelbeschichtungen	x		-	x		+++	x		+	435,--	+		x		+		x
		Stahlfaser-bewehrte Spritzmörtelbesch.	x		++			++	x		+	480,--	+		x		++	x	
		GFK-Faser-bewehrte Spritzmörtelbesch.	x		++			++	x		+	470,--	+		x		++	x	
		Betonstahl-bewehrte Spritzmörtelbesch.	x		+++	x		++			+	565,--	+	x		x	+	x	
Stahlbetondecken	Notstützen	Stahlbeton	x		+++		x	++	x		++	89,--	+	x	x		+		x
		Stahl	x		+++	x		-	x		+	86,--	++	x	x		+	x	
		Mauerwerk	x		++		x	-			++	21,--	+++		x		-		x
		Holz	x		+	x		+++		x	--	25,--	+++		x		-		x
	Flächenhafte Deckenverstärkung	Stahllaschen	x		++		x	-		x	--	208,--	-	x	x		+		x
		GFK-Laschen	x		++		x	-		x	--	320,--	-	x	x		+		x
		Betonstahlbewehrte Spritzmörtel- oder Spritzbetonbesch. Spritzbeton/PCC-Spritzmörtel	x		+++	x		++	x		+	150,- ./ 175,--	++	x	x		+	x	

1) bei Wänden:  $p_d \geq 0,36 \text{ bar}$   
bei Decken:  $p_d \geq 10 \text{ kN/m}^2$

2) +++ sehr gut  
++ gut  
+ befriedigend

- ausreichend  
-- nicht ausreichend

3) 1 = Verwendung wird empfohlen  
2 = Verwendung ist möglich  
3 = Verwendung wird nicht empfohlen

Brandbedingte Temperaturbeanspruchungen auf der Außenseite von Schutzraumbauteilen können die Wirksamkeit bestimmter Verstärkungsmaßnahmen erheblich beeinträchtigen; dies war bei der Auswahl der Ertüchtigungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

Die angegebenen Rohbaukosten/m<sup>2</sup> Schutzraumgrundfläche sind als Schätzwerte anzusehen. Sie beziehen sich auf die Ertüchtigung der im Bild 29 beschriebenen Kellerraumbauteile eines Schutzraumes. Eine Reduzierung der Einheitspreise einzelner Gewerke bei der Errichtung mehrerer Schutzräume durch jeweils das gleiche Bauunternehmen ist zu erwarten. Die Kostenschätzung für das Anbringen von Pfeilervorlagen und Notstützen berücksichtigt jeweils zwei Pfeilervorlagen und zwei Notstützen.

In der Rubrik "mögliche oder notwendig werdende Bauteilanschlüsse" wurde bewertet, ob im Wand-Deckenknoten Anschlußkonstruktionen erforderlich oder zur zusätzlichen Traglasterhöhung möglich sind. Da die Beantwortung dieser Frage von verschiedenen systembedingten Parametern (siehe Abschnitt 6.4.3) abhängt, ist eine allgemeingültige Aussage schwierig. Daher ist im Rahmen eines Beurteilungsschemas für ausführungsfreundliche Verstärkungsmaßnahmen eine Mehrfachbeantwortung möglich.

Jede Rubrik enthält eine Bewertung der verschiedenen Verstärkungsmaßnahmen im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit.

In der letzten Spalte wird eine Gesamtbeurteilung der einzelnen Verstärkungsmaßnahmen unter Berücksichtigung aller Beurteilungskriterien vorgenommen. Diese erfolgt durch eine Eingruppierung jedes Ertüchtigungsvorschlages in die Rubriken 1 bis 3. Demnach können folgende Konstruktionsempfehlungen für ausführungsfreundliche Verstärkungsmaßnahmen abgegeben werden:

- Für örtliche Verstärkungen gemauerter Kellerwände kommen Pfeilervorlagen aus Stahlbeton, Mauerwerk aus Stahlprofilen gleichwertig in Betracht.
- Als flächenhafte Wandverstärkungen werden Stahlfaser- oder mit Betonstahlmatten bewehrte Wandbeschichtungen aus kunststoffmodifizierten Spritzmörteln empfohlen.



- Die Anordnung von Notstützen aus Holz, Stahlprofilen, Mauerwerk oder Stahlbeton ist geeignet, um ausführungsfreundliche und wirtschaftlich punktueller Unterstüttzungen von Stahlbetondecken vornehmen zu können.
- Als flächenhafte Verstärkung von Stahlbetondecken empfiehlt sich die Anbringung mit Betonstahlmatten bewehrter Spritzmörtel oder Spritzbetonschichten an der Unterseite der Kellerdecke. Bei der Anbringung von Strahlungsschirmen ist darauf zu achten, daß die Beschichtungsmörtel oder Betone keine Kunststoffanteile besitzen.

## 9.0 Zusammenfassung

Der hohe Fehlbestand an Schutzplätzen in der Bundesrepublik Deutschland einerseits und die lokale Konzentration der vorhandenen Schutzräume andererseits geben Anlaß zu prüfen, inwieweit es möglich ist, Kellerwände aus Mauerwerk und vorhandene Stahlbetondecken mit einem angemessenen Aufwand so zu verstärken, daß die Forderungen des Grundschatzes hinsichtlich mechanischer Beanspruchung erfüllt werden. Dabei sind nur solche Verstärkungsmaßnahmen zu berücksichtigen, die als wirtschaftlich und ausführungsfreundlich anzusprechen sind. Dies bedeutet, daß ihre Ausführung keinen Einsatz spezieller Fachkräfte oder aufwendiger Maschinen erfordert.

Für den Ist-Zustand von Kellerräumen wurden die Ergebnisse der Erhebungen des "Straubinger Modells" zugrunde gelegt. Zur Bestandsanalyse vorhandener Kellerräume, die zu Schutzräumen ausgebaut werden sollen, wurde ein Erhebungsbogen aufgestellt, mit dessen Hilfe die unterschiedlichen baulichen Gegebenheiten beschrieben werden können. Diese Bestandsanalyse ist Grundlage für die Beantwortung der Fragen eines Bewertungssystems, welches zur Beurteilung der Verstärkungswürdigkeit vorhandener Kellerumfassungsbauteile entwickelt worden ist.

Daran anschließend wurden bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Schutzwirkung bei mechanischer Beanspruchung der Schutzraumbauteile vorgestellt und ihre traglaststeigernde Wirkung aufgrund physikalisch und geometrisch nichtlinearer Berechnungen mit Hilfe von Finite-Element-Programmen und der Bruchlinientheorie nachgewiesen. Als örtliche Verstärkungsmaßnahmen gemauerter Wände wurden die Anbringung von Pfeilervorlagen aus Stahlprofilen oder Stahlbeton im Hinblick auf die Erzielung eines traglaststeigernden kreuzweisen Lastabtrages in den Feldbereichen neben der Queraussteifung untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, daß die Biegesteifigkeit von Pfeilervorlagen zwei- bis dreimal so groß sein sollte wie diejenige der unverstärkten Mauerwerkswand, um einen gleichmäßigen kreuzweisen Lastabtrag über alle horizontalen und vertikalen Lagerungen der Mauerwerkswände erreichen zu können.

Flächenhafte Wandverstärkungen wurden am Beispiel aufgeklebter Stahl-laschen und Wandbeschichtungen aus kunststoffmodifizierten Spritzmörteln untersucht. Letztere können unbewehrt, mit Faserzusätzen versehen, oder mit Betonstahlmatten bewehrt ausgeführt werden. Das anzustrebende Ertüchtigungsziel von 0,36 bar Horizontaldruck auf die Umfassungswände gemauerter Schutzräume kann nach Durchführung der beschriebenen flächigen Ertüchtigungsmaßnahmen auch bei nicht vorhandener Wandauflast erreicht werden. Allerdings sind hier für einzelne Ausführungsformen noch Eignungsversuche erforderlich. Der maximal erreichbare Verstärkungsgrad der vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen wird begrenzt durch das Schubtragvermögen der zu ertüchtigenden Wand. Aufgrund von Literaturangaben /20...27/ wurde daher eine obere Schubspannungsgrenze von  $0,35 \text{ MN/m}^2$  im Bruchzustand bei Verwendung von Mauermörteln der Gruppe III eingeführt. Unter Beachtung dieser Maßgabe bewirken die vorgeschlagenen Ertüchtigungsmaßnahmen eine Erhöhung der aufnehmbaren horizontalen Traglast um den Faktor 2,0 bis 2,5 im Vergleich zu nicht verstärkten Mauerwerkswänden. Betonstahlmatten in Wandbeschichtungen benötigen i.a. einen zusätzlichen Korrosionsschutz.

Eine Bedingung für die Wirksamkeit flächenhafter Verstärkungsmaßnahmen in Form von Wandbeschichtungen aus PCC-Spritzmörtel ist ein ausreichender Haftverbund in der Kontaktfläche zwischen Mauerwerk und Beschichtungsmaterial. Zu diesem Zwecke wurden Haftzug- und Haftscherprüfungen an mittels kunststoffmodifizierter Spritzmörtel beschichteten Mauerwerkskörpern durchgeführt. Die festgestellten Haftzugfestigkeiten werden begrenzt durch die Zugfestigkeiten der verwendeten Mauersteine: Der Bruch trat stets im Steinmaterial auf.

Hinsichtlich der konstruktiven Ausbildung von Knotenpunkten im Bereich von Decke und Wand sowie Längs- und Querwänden werden Konstruktionsvorschläge gemacht, die eine Weiterleitung von Restzugkräften aus der Zugkraftlinie ertüchtigter Wände und Decken in die Anschlußbauteile ermöglichen.

Im Zusammenhang mit der Beurteilung von Verstärkungsmaßnahmen nach den Kriterien "mechanische Wirksamkeit, handwerkliche Durchführbarkeit, Brandverhalten sowie erforderlich werdender Anschlußkonstruktionen" mit Hilfe eines Bewertungssystems wurde eine überschlägliche Kostenanalyse

durchgeführt, die Auskunft über die Wirtschaftlichkeit der Verstärkungsvorschläge geben soll. Demzufolge sind die hier untersuchten und empfohlenen Konstruktionsvorschläge i.M. 40 bis 60 % kostengünstiger als konventionelle Baumaßnahmen zur nachträglichen Errichtung von Schutzräumen in vorhandenen Kellern.

Abschließend können folgende Konstruktionsempfehlungen für ausführungsfreundliche Verstärkungsmaßnahmen von geeignet erscheinenden Kellerräumen gegeben werden:

Als örtliche Verstärkungen gemauerter Wände können Pfeilervorlagen aus Stahlbeton, Mauerwerk oder Stahlprofilen verwendet werden.

Flächenhafte Wandverstärkungen werden durch die Anbringung stahlfaser- oder mit Betonstahlmatten bewehrter Beschichtungen aus PCC-Spritzmörteln auf der Innenseite zu ertüchtigender Schutzraumwände aus Mauerwerk erreicht. Die Brauchbarkeit unbewehrter Beschichtungen wäre noch zu prüfen. Aus brandschutztechnischen Gründen wird von einer Ertüchtigung von Schutzraumumfassungsbauteilen mit Hilfe von Stahllaschen oder glasfaserverstärkten Kunststofflaschen abgeraten. Die Anordnung von Notstützen ist ein geeignetes Mittel, um Stahlbetondecken in Schutzräumen punktuell unterstützen und damit verstärken zu können. Als flächenhafte Deckenverstärkungen können an der Deckenunterseite mit Betonstahlmatten bewehrte Spritzbetonschichten angebracht werden.

Die Ausarbeitung der vorstehend genannten Verstärkungsvorschläge zur Ertüchtigung gemauerter Schutzraumwände wurde unter anderem mit Hilfe einer rechnerischen Analyse ihrer mechanischen Wirksamkeit durchgeführt. Die experimentelle Bestätigung der dabei vorläufig getroffenen baustofflichen und konstruktiven Annahmen wird deshalb der Schwerpunkt des folgenden zweiten Forschungsabschnittes sein, über dessen Ergebnisse Ende 1990 berichtet werden soll.

## Literaturverzeichnis

- / 1/ Kordina, Westphal, Gunkler:  
Untersuchungen zur Standsicherheit von Wänden in alter Bausubstanz unter Horizontaldruck.  
Untersuchungsbericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, November 1986.
- / 2/ Kordina, Gunkler:  
Biegetragfähigkeit von Mauerwerk mit den Eigenschaften alter Bausubstanz unter Druckbeanspruchung.  
Untersuchungsbericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, Juni 1988.
- / 3/ Bautechnische Grundsätze für Hausschutzräume des Grundschatzes, Fassung Februar 1972, in Verbindung mit dem Ergänzungsblatt vom Juni 1976.  
Bundesanzeiger Nr. 143 vom 03.08.1976.
- / 4/ Mündliche Mitteilung vom 13.01.1989 von Herrn Dipl.-Ing. Honcamp, Institut für Energieverfahrenstechnik Prof. Jeschar, TU Clausthal-Zellerfeld.
- / 5/ Modell Straubing, eine zivilschutztaktische Untersuchung der vorhandenen Bausubstanz, Band I bis IV.  
Bundesamt für Zivilschutz 1978.
- / 6/ DIN 1045, Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung, Ausgabe Juli 1988.  
Betonkalender 1989, Teil 2.
- / 7/ Eurocode No. 2, Design of Concrete Structures; Final Draft (December 1988)
- / 8/ CEB/FIP-Mustervorschrift für Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton, 3. Ausgabe, 1978. Übersetzung der französischen Originalfassung.
- / 9/ Rostásy, F.; Ranisch, E.-H.; Alda, W.:  
Nachträgliche Verstärkung von Spannbetonbrücken im Koppelfugenbereich durch angeklebte Stahllaschen.  
In: Forschung - Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 326, Bonn: BMV 1982.
- /10/ Rostásy, F.; Ranisch, E.-H.:  
Einseitige Verstärkung gerissener Koppelfugenbereiche durch angeklebte Stahllaschen.  
In: Forschung - Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 378, Bonn: BMV 1983.
- /11/ Ranisch, E.-H.:  
Zur Tragfähigkeit von Verklebungen zwischen Betonstahl und Beton - Geklebte Bewehrung.  
Dissertation TU Braunschweig, 1982.

- /12/ Rostásy, F.; Ranisch, E.-H.:  
Koppelfugensanierung mit angeklebten Stahllaschen.  
In: Bauingenieur 61 (1986), S. 305 - 311.
- /13/ Institut für Bautechnik:  
Schubfeste Klebeverbindungen zwischen Stahlplatten und Stahlbetonbauteilen.  
Zulassungsbescheid Nr. Z 26.1.
- /14/ Rostásy, F.; Ranisch, E.-H.:  
Nachträgliche Verstärkung von Stahlbetonplatten durch Ankleben von Bewehrung.  
TU-Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Land Niedersachsen - Braunschweig: Forschungsbericht 1983.
- /15/ Rostásy, F.; Ranisch, E.-H.:  
Verstärkung von Stahlbetonplatten durch angeklebte Laschen aus glasfaserverstärktem Kunststoff.  
Forschungsbericht Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Juli 1986.
- /16/ Hartwich, K.:  
Zum Riß- und Verformungsverhalten von stahlfaserverstärkten Stahlbetonstäben unter Längszug.  
Dissertation TU Braunschweig, 1986.
- /17/ Stangenberg, F.:  
Stahlfaserbeton als Baustoff für stoßbeanspruchte Baueile.  
Bauingenieur 61, 1986.
- /18/ Schorn, H.:  
Kunststoffmodifizierter Spritzbeton - Betontechnologie.  
Zusammenstellung von Veröffentlichungen und Berichten der Arbeitsgruppe Materialtechnologie, Ruhr-Universität-Bochum, November 1987.
- /19/ Sager, H.:
- /20/ Mann, W.; Müller, H.:  
Schubtragfähigkeit und Schubnachweis von gemauerten Wänden.  
Mauerwerkskalender 1985.
- /21/ Kalksandstein-Handbuch  
Statik und Bemessung DIN 1053 Teil 2, 2. Auflage, 1986.
- /22/ Hofmann, P.; Stöckl, S.:  
Versuche zum Haftscherverhalten der Lagerfugen von Mauerwerk.  
Berichtsband über Forschungsvorhaben des Instituts für Massivbau der Technischen Universität München, Band VI, Dezember 1988.

- /23/ Marten, H.; Sager, H.:  
Schubtragfähigkeit von bewehrten Mauerwerksplatten,  
Institut für Betonstahl und Stahlbetonbau e.V.,  
Forschungsbericht zum Vorhaben IV 1-5-414/84, Dezember 1986.
- /24/ Zelger, C.; Schellbach, G.:  
Vorschläge für die Schubbemessung von Ziegelstürzen.  
Die Ziegelindustrie, Heft 24, 1967.
- /25/ Curtin, W.G.; Shaw, G.; Beck, J.K.:  
Design of reinforced and prestressed masonry.  
Thomas Telford, London 1986.
- /26/ Zelger, C.:  
Bewehrtes Mauerwerk nach DIN 1053 Teil 3, Entwurf 1987.  
Mauerwerkskalender 1988.
- /27/ Einnatz, H.-J.:  
Bemessung und Herstellung von Ziegelstürzen.  
Die Ziegelindustrie Heft 7, 1967.
- /28/ Reichenbach, H.; Mayrhofer, Chr.:  
Dynamisches Tragverhalten von Mauerwerk bei horizontaler Belastung.  
Abschlußbericht E 5/86.
- /29/ Schutzbaufibel, Dezember 1983.  
Bundesverband für den Selbstschutz, Köln.
- /30/ Victor J. Parra Sanchez:  
Post reinforced masonry walls for seismic resistance.  
California State University, Long Beach, USA.
- /31/ Klocko, A.P.; Dchabarov:  
Erforschung der Wirksamkeit einer Verstärkung von Ziegelmauerwerk  
durch eine Auflage von Pneumbeton (russ.);  
Dinamika i seismostoikost' zdanii sooruchenii  
Dusambe: donis, 1976.
- /32/ Dzabarov, M.:  
Wiederherstellung der Tragfähigkeit von geschwächtem und geschädig-  
tem Ziegelmauerwerk (russ.);  
Dinamika i seismostoikost' zdanii sooruchenii  
Dusambe: donis, 1976.
- /33/ Dzaborov, M.:  
Erforschung der Haltbarkeit von beschädigtem Ziegelmauerwerk, ver-  
stärkt mit bewehrten Putzschichten (russ.);  
Dinamica i seismostoikost' zdanii sooruchenii  
Dusambe: donis, 1977.

- /34/ Poljakov, S.V.; Kozarinov:  
Haltbarkeit von Mauerwerk komplexer Konstruktionen bei gleichzeitiger Wirkung von statischen horizontalen und vertikalen Kräften (russ.);  
Stroitel' stvo i architecture Uzbekistana, 1974.
- /35/ Kropp; Hilsdorf:  
Korrosion der Bewehrung in bewehrtem Mauerwerk.  
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe.
- /36/ Ohler, A.:  
Bewehrtes Mauerwerk.  
Ziegel-Jahrbuch 1987/88, S. 50...68.
- /37/ Kropp; Hilsdorf:  
Teilweise bewehrtes Mauerwerk 21jähriger Standzeit.  
Bericht des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe 1981.
- /38/ Heft 300 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton



Systemvorschlag für den nachträglichen Ausbau	
Schema-Skizze	Beschreibung des Bauvorganges
	<p>1</p> <p>Ortbeton - Stahlbeton: Gleichzeitiges Herstellen von Wänden und Decke (Monolithische Bauweise) Zustand vor dem Ausbau</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anhängen der Deckenbewehrung an vorhandene Decke</li> <li>- Aufsteilen der Wandbewehrung</li> <li>- Herstellung von Schalung und Rustung für Wände und Decke</li> <li>- Einbringen des Betons als Fließbeton</li> <li>- Nach Erhärten des Betons die Entfernungen von Schalung und Rustung</li> </ul>
	<p>Fertiger Grundschutzraum nachträglicher Einbau</p> <p>Maßnahme B nach Tabelle 2, Seite 3 des Ergebnisskizzen-/Maßnahmen-Katalog</p>

Systemvorschlag für den nachträglichen Ausbau	
Schema-Skizze	Beschreibung des Bauvorganges
	<p>2</p> <p>Ortbeton - Stahlbeton Hubverfahren für Decke Zustand vor dem Ausbau</p>
	<p>Herstellen der Decke:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einbau und Installation der Hub- und Abstufungsvorrichtung</li> <li>- Herstellung der Deckenschalung und Rustung ca. 1 m über Oberkante Fußboden</li> <li>- Verlegung der Bewehrung</li> <li>- Einbringen des Betons</li> <li>- Nach Erhärten des Betons die Entfernung der Schalung und Rustung</li> </ul>
	<p>Hubvorgang:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anheben der Decke mittels hydraulischer Pressen unter Verwendung von Zwischenabstützungen (z.B. Stapellager)</li> <li>- Wenn Decke auf Endhöhe angehoben ist: Sicherung der Abstützung und Ausbau der Pressen</li> </ul>
	<p>Herstellen der Wände</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufsteilen der Wandbewehrung</li> <li>- Herstellung von Schalung und Rustung der Wände</li> <li>- Einbringen des Betons</li> <li>- Nach Erhärten des Betons die Entfernung von Schalung und Rustung</li> <li>- Entfernung der Deckenabstützung</li> </ul>
	<p>Fertiger Grundschutzraum nachträglicher Einbau</p> <p>Maßnahme B nach Tabelle 2, Seite 3 des Ergebnisskizzen-/Maßnahmen-Katalog</p>

Konventionelle Konstruktionsvorschläge zur nachträglichen Errichtung von Schutzräumen in vorhandenen Kellern

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

der Technischen Universität Braunschweig

Anlage: 1

Blatt: 1

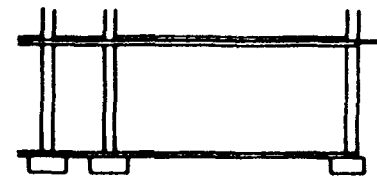
zum Untersuchungs-  
bericht

Nr. B17-810700-7

### Systemvorschlag für den nachträglichen Ausbau

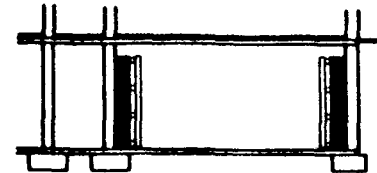
4

#### Schema-Skizze

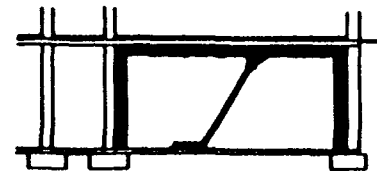


#### Beschreibung des Bauvorganges

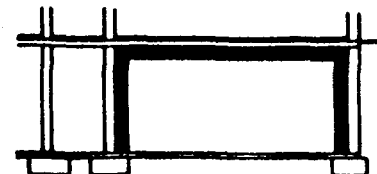
**Ortbeton - Stahlbeton:**  
Decke in Spritzbeton  
Wände in Ortbeton  
Zustand vor dem Ausbau



**Herstellen der Wände**  
- Aufstellen der Wandbewehrung  
- Herstellung von Schalung und Rustung  
- Einbringen des Betons  
- Nach Erhärten des Betons Entfernung von Schalung und Rustung



**Herstellen der Decke**  
- Anhängen der Deckenbewehrung an vorhandene Decke  
- Installation der Spritzbetoneinrichtung  
- Einbringen des Betons mittels Spritzbetonverfahrens  
- evtl. Glätten der Decke

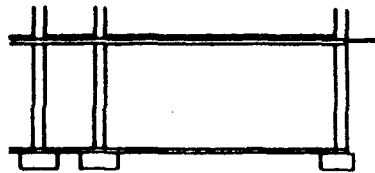


**Fertiger Grundschutzraum, nachträglicher Einbau**  
für Decke Maßnahme A  
für Wände Maßnahme B  
nach Tabelle 2 Seite 3 des Ergebnisbogens / Maßnahmen Katalog

### Systemvorschlag für den nachträglichen Ausbau

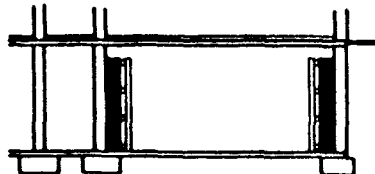
3

#### Schema-Skizze

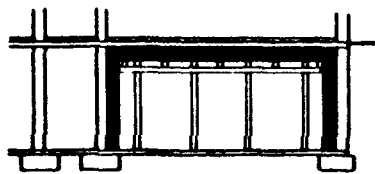


#### Beschreibung des Bauvorganges

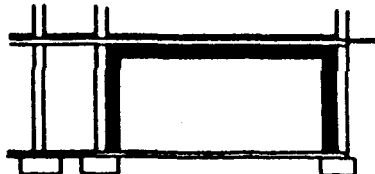
**Ortbeton - Stahlbeton:**  
Getrennte Herstellung von Wänden und Decke  
Zustand vor dem Ausbau



**Herstellen der Wände**  
- Aufstellung der Bewehrung  
- Herstellung der Schalung und Rustung  
- Einbringen des Betons  
- Nach Erhärten des Betons Entfernung von Schalung und Rustung



**Herstellen der Decke**  
- Anhängen der Deckenbewehrung an vorhandene Decke  
- Herstellen von Schalung und Rustung  
- Einbringen des Betons als Fließbeton  
- Nach Erhärten des Betons Entfernung von Schalung und Rustung



**Fertiger Grundschutzraum, nachträglicher Einbau**  
Maßnahme B  
nach Tabelle 2, Seite 3 des Ergebnisbogens / Maßnahmen Katalog

Konventionelle Konstruktionsvorschläge zur nachträglichen Errichtung von Schutzräumen in vorhandenen Kellern

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

der Technischen Universität Braunschweig

Anlage: 1  
Blatt: 2  
zum Untersuchungs-  
bericht

Nr. B17-810788-7

# ENTWURF ZU EINER

## BESTANDSANALYSE FÜR DEN NACHTRÄGLICHEN EINBAU VON SCHUTZRÄUMEN GEEIGNET ERSCHEINENDER KELLER

### 1.0 Erhebungsteil 1: ALLGEMEINE ANGABEN

#### 1.1 Gebäudeadresse

Straße/Nr: \_\_\_\_\_

Ort: \_\_\_\_\_

Gemarkung: \_\_\_\_\_ Parzelle: \_\_\_\_\_

#### 1.2 Gebäudeeigentümer

Name/Vorname: \_\_\_\_\_

Anschrift: \_\_\_\_\_

#### 1.2 Angaben zur Nutzung des Gebäudes

##### 1.2.1 Nutzungsart

Wohnhaus ☐

Wohn- und Geschäftshaus ☐

Bürogebäude ☐

Industriegebäude ☐

Anzahl der das Gebäude  
ständig nutzender Personen \_\_\_\_\_

- 2 -

1.2.2 Erforderliche Anzahl an Schutzplätzen: \_\_\_\_\_

#### 1.3 Angaben zur Gebäudeerstellung

##### 1.3.1 Vorhandene Planungsunterlagen

nicht  
vorhanden vorhanden

Architekturpläne und Aufmaße ☐ ☐

Statik und Konstruktionsunterlagen ☐ ☐

Planungsunterlagen zur Haustechnik ☐ ☐

##### 1.3.2 Erstellungsdatum

Baujahr: \_\_\_\_\_

##### 1.3.3 Bauweise

offene ☐ geschlossene ☐ freistehende ☐

Gebäudeanbau: Nein ☐ Ja ☐

einseitig ☐

zweiseitig ☐

##### 1.3.4 Läger besonders brennbarer Güter im oder in der Nähe des Gebäudes

Ja ☐ Entfernung: \_\_\_\_\_ m Nein ☐

### 1.3.5 Angaben zur Gebäudefläche

Grundstückfläche: \_\_\_\_\_

Bebaute Fläche: \_\_\_\_\_

Anzahl der Vollgeschosse: \_\_\_\_\_

Dachgeschoß:

ausgebaut ☐

nicht ausgebaut ☐

Bestandsanalyse für den nachträglichen Einbau von  
Schutzräumen geeignet erscheinender Keller

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig

Anlage: 2

Blatt: 2

zum Untersuchungs-  
bericht

Nr. B17-810788-7

## 2.0 Erhebungsteil 2: BESCHREIBUNG DES GEBÄUDES

### 2.1 Bauart

Fachwerk ☐

Massiv ☐ Mauerwerk ☐

Beton ☐

Stahlbetonskelett ☐

Stahlskelett ☐

sonstige Bauart ☐

### 2.2 Konstruktionsmerkmale

#### 2.2.1 Konstruktion der Geschosdecken (Holz; Massiv)

Erdgeschoß: \_\_\_\_\_

übrige Geschosse: \_\_\_\_\_

#### 2.2.2 Treppenkonstruktion im Keller

Holz ☐

Stahl ☐

Stahlbeton ☐

#### 2.2.3 Dachkonstruktion

Steildach ☐

Holz ☐

Massiv ☐

Flachdach ☐

Holz ☐

Massiv ☐

2.3 Äußerliche Merkmale für den Schutzraumbau geeignet erscheinender Keller

2.3.1 Lichte Kellerhöhe: \_\_\_\_\_ m

2.3.2 Höhe zwischen OK-Gelände und UK-Kellerdecke

\_\_\_\_\_ m

2.3.3 Schutzraum vorhanden

Ja ☐

Nein ☐

2.3.4 Befindet sich der Keller in hochwassergefährdeten Gebieten?

Ja ☐

Nein ☐

2.3.5 Energieversorgung des Gebäudes

Gas ☐

Öl; Koks; Kohle ☐

Tankanlagen ☐

2.3.6 Sonstige Merkmale des Gebäudes

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3.0 Erhebungsteil 3: ANGABEN ZU DEN KELLERRÄUMEN

3.1 Ist der Kellerraum frei von Gas-, Heizungs- und anderen gefährdenden Rohrleitungen?

Ja ☐

Nein ☐

3.2 Liegt der Kellerraum im Bereich von Gebäudeaußenwänden?

Ja ☐

Nein ☐

Anzahl der Außenwände: \_\_\_\_\_

3.3 Ist an der Außenwand eine Fluchtöffnung größer oder gleich 60 x 80 cm<sup>2</sup> vorhanden?

Ja ☐

Nein ☐

zur Straße ☐

zum Innenhof ☐

zum Nachbargebäude ☐

3.4 Ist eine Fluchtöffnung größer oder gleich 60 x 80 cm<sup>2</sup> nachträglich herstellbar?

Ja ☐

Nein ☐

zur Straße ☐

zum Innenhof ☐

zum Nachbargebäude ☐

3.5 Abmessungen des zu beurteilenden Kellerraumes

Breite: \_\_\_\_\_ m

Länge: \_\_\_\_\_ m

Lichte Höhe: \_\_\_\_\_ m

**2.6 Art und Anzahl der Türen im zu beurteilenden Kellerraum**

Feuerhemmende Türen	<input type="checkbox"/>	_____ Stück
Holztüren	<input type="checkbox"/>	_____ Stück
Blechtüren	<input type="checkbox"/>	_____ Stück
Sonstige	<input type="checkbox"/>	_____ Stück

**2.7 Art im betrachteten Kellerraum befindlicher Versorgungsleitungen**

Gas	<input type="checkbox"/>	
Heizung	<input type="checkbox"/>	
Wasser	<input type="checkbox"/>	
Regenwasser	<input type="checkbox"/>	
sonstige Leitungen	<input type="checkbox"/>	_____

**2.9 Sind zu- oder Abluftöffnungen in den seitlichen Raumumfassungsbauteilen vorhanden?**

Ja ☐                      Nein ☐

Größe, Anzahl: \_\_\_\_\_

**4.0 Erhebungsteil 4:  
UMFASSUNGSBAUTEILE FÜR DIE NACHTRÄGLICHE EINRICHTUNG VON  
SCHUTZPLÄTZEN IN GEEIGNET RESCHNENDEN KELLERRÄUMEN**

**4.1 Deckenkonstruktion**

**4.1.1 Deckenart**

Holzdecke                      Ja ☐                      Nein ☐

Massivdecke: Gewölbedecke ☐

Stahlsteindecke ☐

Stahlbetondecke ☐

**4.1.2 Stahlbetondecke  
(nur ausfüllen, falls Stahlbetondecke vorhanden)**

Deckendicke: \_\_\_\_\_ cm

Betongüte: B \_\_\_\_\_

Stahlgüte: BSt 220/340 ☐

BSt 420/500 ☐

BSt 500/550 ☐

**Statisches System:**

einachsig lastabtragende Decke ☐

kreuzweise lastabtragende Decke ☐

**Systemannahme:**

einachsig ☐

kreuzweise ☐

1) Diese Angaben sind gemäß dem Inhalt vorhandener statischer Unterlagen oder den Ergebnissen fachkundlicher Beurteilungen zu machen

Bestandsanalyse für den nachträglichen Einbau von  
Schutträumen geeignet erscheinender Keller

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

der Technischen Universität Braunschweig

Anlage: 2  
Blatt: 4

zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7

Lagerungsbedingungen der Schutzraumdecke (Skizze):

feststellbare Schäden der Decke:

Risse ☐

Abplatzungen ☐

#### 4.2 Außenwand

4.2.1 Steht die Außenwand unter Grundwasserdruck

Ja ☐

Nein ☐

4.2.2 Abmessungen der Kelleraußenwand

Höhe: \_\_\_\_\_ m

Länge: \_\_\_\_\_ m

Dicke: \_\_\_\_\_ m

Feueröffnungen: Anzahl: \_\_\_\_\_ Stck

Abmessungen: \_\_\_\_\_

#### 4.2.3 Bauart

4.2.3.1 Stahlbeton:

Betongüte: \_\_\_\_\_ Stahlgüte: \_\_\_\_\_

Durchmesser, Anzahl und Abstand der Bewehrung

(ggf. Konstruktionszeichnungen beifügen): \_\_\_\_\_

4.2.3.2 Beton oder Betonsteine:

Betongüte bzw. Betonsteinbezeichnung: \_\_\_\_\_

Bewehrung: \_\_\_\_\_

4.2.3.3 Mauerwerk

Naturstein: Ja ☐

Nein ☐

Bezeichnung: \_\_\_\_\_

Künstlicher Mauerstein:

Ja ☐

Nein ☐

Bezeichnung: \_\_\_\_\_

Steingüte:

Rohdichte: \_\_\_\_\_ kg/dm<sup>3</sup>

Druckfestigkeit: \_\_\_\_\_ N/mm<sup>2</sup>

Mörtel:

Mörtelgruppe gemäß DIN 1053 Teil 1, Tabelle 6: \_\_\_\_\_

Bestandsanalyse für den nachträglichen Einbau von  
Schutzräumen geeignet erscheinender Keller

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig

Anlage: 2  
Blatt: 5  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7

4.2.4 Konstruktive Besonderheiten:

4.2.4.1 Querschnittsschwächende (verborgene) Aussparungen für  
Falleleitungen

---

---

4.2.4.2 Anschluß Wand-Decke:

(Beschreibung der Deckenauflagerung: Endauflager,  
Zwischenaufleger, sowie vorhandener Sperrschichten im  
Mauerwerk unterhalb der Decke)

---

---

4.2.4.3 Anschluß Wand - Wand

(Beschreibung von Art und Ausführung vorhandener Quer-  
aussteifungen in Form von Pfeilervorlagen oder  
Querwänden im Hinblick auf ihre Verbindung mit der  
auszustEIFenden Wand)

---

---

4.2.5 Beurteilung vorhandener Schäden

(z.B. Ausblühungen; Steinabplatzungen größeren Aus-  
maßes oder aufsteigende Feuchtigkeit)

---

---

---

4.3 Innenwände

Höhe: \_\_\_\_\_ m

Länge: \_\_\_\_\_ m

Dicke: \_\_\_\_\_ m

Feueröffnungen: Anzahl: \_\_\_\_\_ Stück

Abmessungen: \_\_\_\_\_

4.3.2 Bauart

4.3.2.1 Stahlbeton:

Betongüte: \_\_\_\_\_ Stahlgüte: \_\_\_\_\_

Durchmesser, Anzahl und Abstand der Bewehrung

(ggf. Konstruktionszeichnungen beifügen): \_\_\_\_\_

---

4.3.2.2 Beton oder Betonsteine:

Betongüte bzw. Betonsteinbezeichnung:

---

Bewehrung:

---



#### 4.3.2.3 Mauerwerk

Naturstein: Ja ☐ Nein ☐

Bezeichnung: \_\_\_\_\_

künstlicher Mauerstein:

Ja ☐ Nein ☐

Bezeichnung: \_\_\_\_\_

Steingüte:

Rohdichte: \_\_\_\_\_ kg/dm<sup>3</sup>

Druckfestigkeit: \_\_\_\_\_ N/mm<sup>2</sup>

Mörtel:

Mörtelgruppe gemäß DIN 1053 Teil 1, Tabelle 6:

\_\_\_\_\_

#### 4.3.3 Konstruktive Besonderheiten:

4.3.3.1 Querschnittsschwächende (verborgene) Aussparungen für  
Falleleitungen

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### 4.3.3.2 Anschluß Wand-Decke:

(Beschreibung der Deckenauflagerung: Endauflager,  
Zwischenaufleger, sowie vorhandener Sperrschichten im  
Mauerwerk unterhalb der Decke)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### 4.3.3.3 Anschluß Wand - Wand

(Beschreibung von Art und Ausführung vorhandener Quer-  
aussteifungen in Form von Pfeilervorlagen oder  
Querwänden im Hinblick auf die Art ihrer Verbindung  
mit der auszusteienden Wand)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### 4.3.4 Beurteilung vorhandener Schäden

(z.B. Ausblühungen; Steinabplatzungen größeren Aus-  
maßes oder aufsteigende Feuchtigkeit)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### 4.4 Kellersohle

##### 4.4.1 Bauart

Verwendete Materialien:

Lehm ☐

Pflasterung ☐

Beton ☐

Stahlbeton ☐

##### 4.4.2 Beschreibung der Stahlbetonsohlplatte

(nur ausfüllen, falls vorhanden)

Ist die Sohle kraftschlüssig mit den Streifen-  
fundamenten der aufgehenden Wände verbunden?

Ja ☐

Nein ☐

Abmessungen der Sohle:

Dicke: \_\_\_\_\_ cm

Betongüte: B \_\_\_\_\_ Stahlgüte: \_\_\_\_\_

Durchmesser, Anzahl und Abstand der Bewehrung  
(ggf. Konstruktionszeichnungen beifügen): \_\_\_\_\_

4.4.3 Konstruktive Besonderheiten

Ist eine Sperrschicht gegen aufsteigende Feuchtigkeit  
vorhanden?

Ja ☐

Nein ☐

Sind Ablauföffnungen in der Sohle vorhanden?

Ja ☐

Nein ☐

Enthalten die Ablauföffnungen Rückstaueventile?

Ja ☐

Nein ☐

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Bestandsanalyse für den nachträglichen Einbau von  
Schutzräumen geeignet erscheinender Keller

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig

Anlage: 2  
Blatt: 8  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7

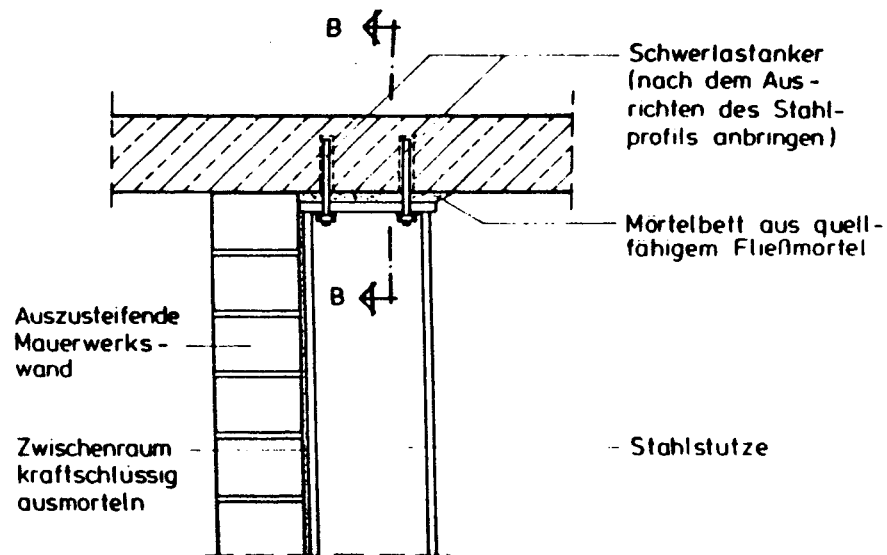
[illegible]



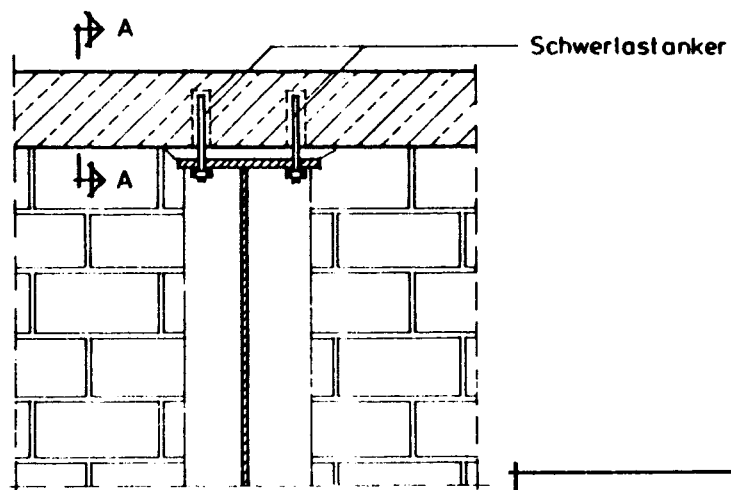
Gruppe	Gebäudeeigentümer: _____	Bewertung	Bewertungs- zahl
V	<u>SOHLE</u>  Bauart:      Lehm                                  O                  100 Pflasterung                                O                  100 Beton                                         O                  0 Stahlbeton                                    O                  0  Ist die Sohlplatte mit Steifenfundamenten kraftschlüssig verbunden?  ja    O                  0 nein    O                  100  Sind Ablauföffnungen von Gullies oder ähnlichen Rückstauklappen vorhanden?  ja    O                  0 nein    O                  100		
Summe der Bewertungspunkte			

**Bild 09:** Konstruktionsvorschläge zur nachträglichen Errichtung von Aussteifungen gemauerter Wände - vergl. Abschnitt 6.2.1 -

Seitenansicht A-A



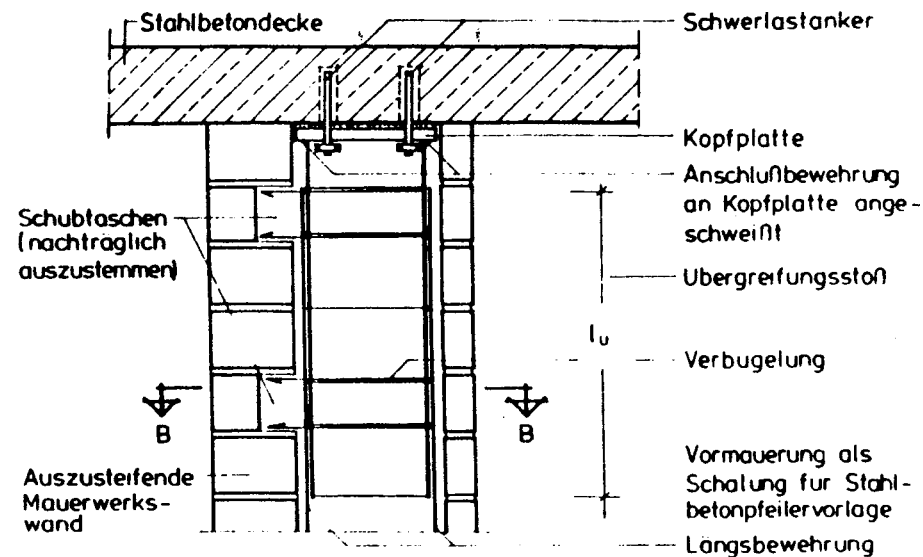
Vorderansicht B-B



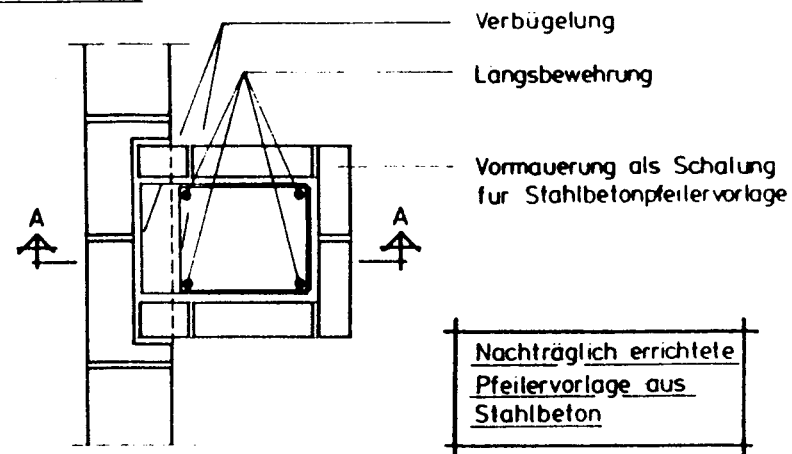
Kopf- und Fußpunkt gleich ausbilden!

Stahlstütze als Pfeilervorlage

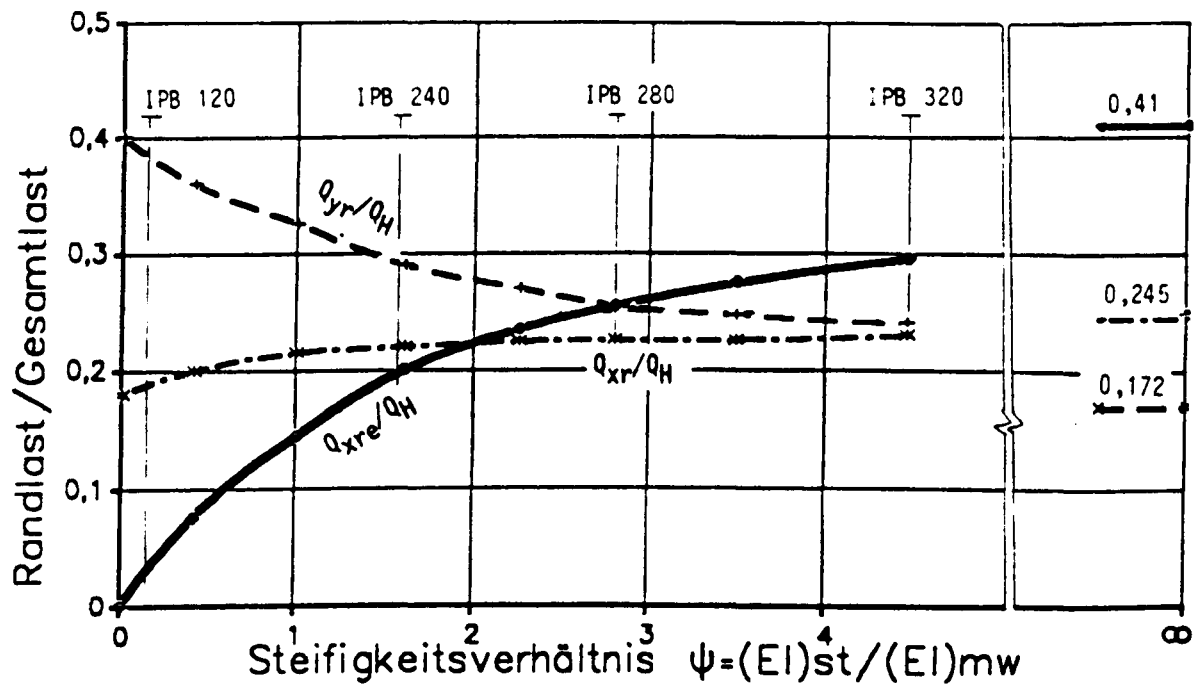
Schnitt A-A



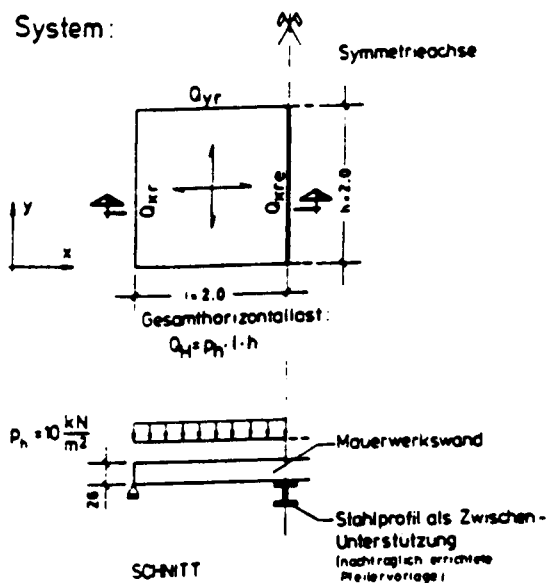
Schnitt B-B



Anlage: 4  
Blatt: -  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



System:



#### Materialangaben:

#### Mauerwerk:

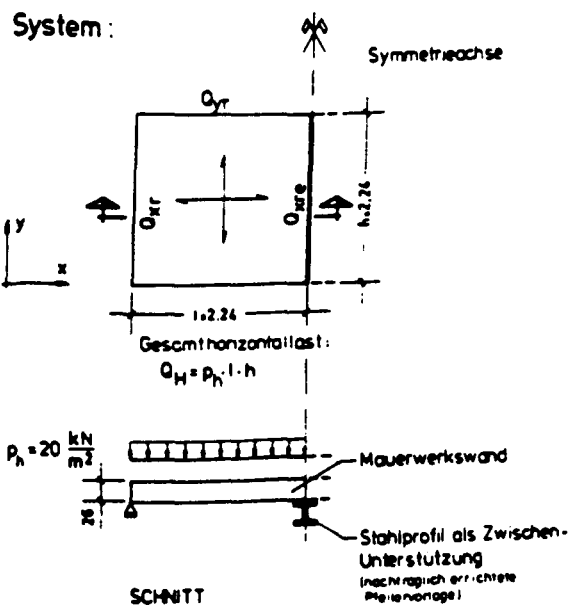
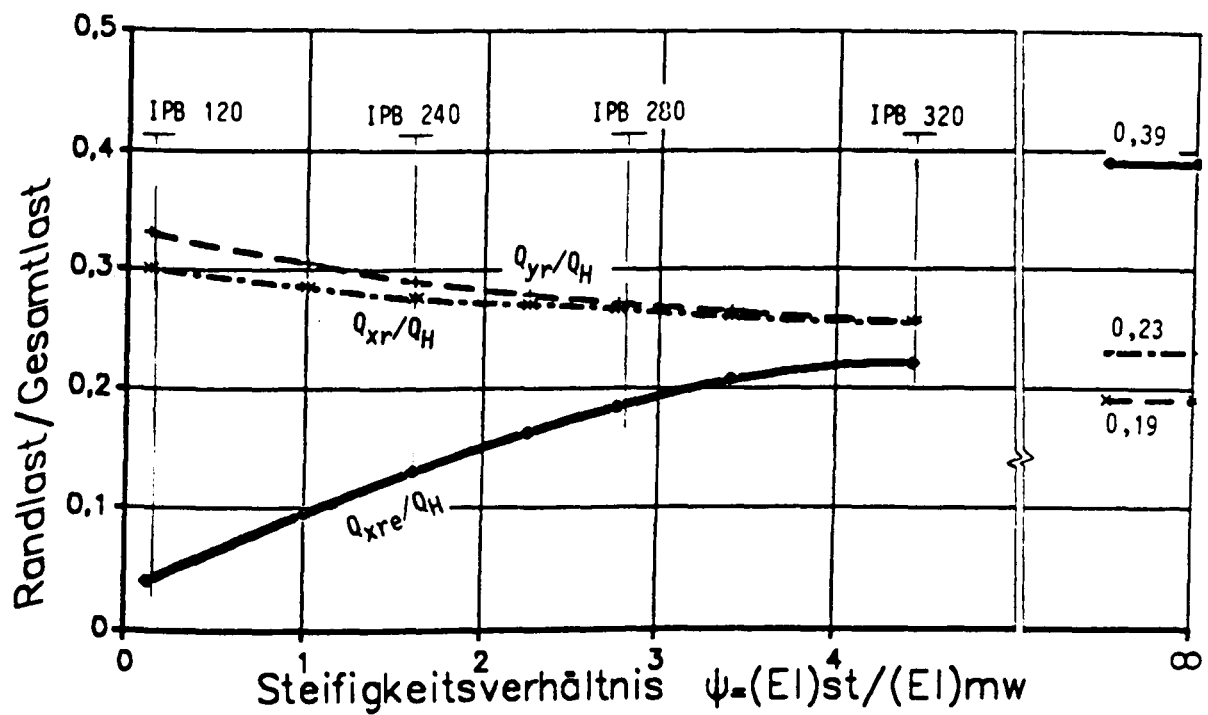
$B_{D,mw} = 10 \text{ MN/m}^2$   
 $E_{mw} = 10000 \text{ MN/m}^2$

#### Aussteifungsträger:

Baustahl St 37  
 $E = 210000 \text{ MN/m}^2$

**Bild 10:** Querkräfte kreuzweise lastabtragender, durch Pfeilervorlagen ausgesteifter Wände (lin. elast. Werkstoffgesetz)  
 - vergl. Abschnitt 6.2.1 -

Anlage: 5  
 Blatt: 1  
 zum Untersuchungs-  
 bericht  
 Nr. B17-810788-7



#### Materialangaben:

#### Mauerwerk:

$B_{D,mw} = 10 \text{ MN/m}^2$   
 $E_{mw} = 10000 \text{ MN/m}^2$

#### Aussteifungsträger:

Baustahl St 37  
 $E = 210000 \text{ MN/m}^2$

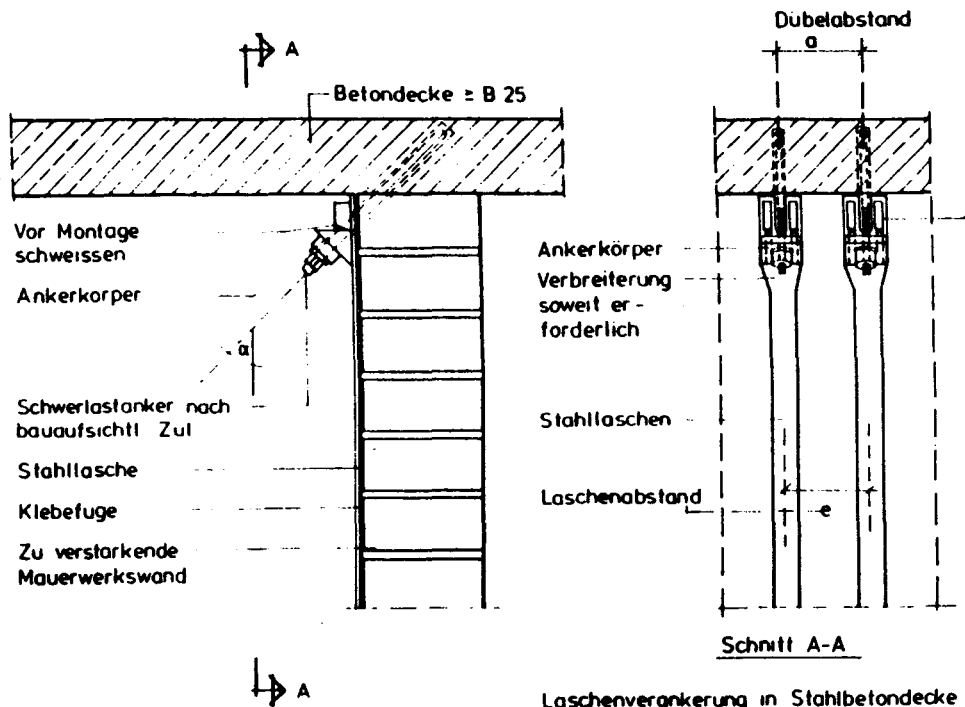
**Bild 11:** Querkräfte kreuzweise lastabtragender, durch Pfeilervorlagen ausgesteifter Wände (nicht lineares Werkstoffgesetz)  
 - vergl. Abschnitt 6.2.1 -

Anlage: 5  
 Blatt: 2  
 zum Untersuchungs-  
 bericht  
 Nr. B17-810788-7

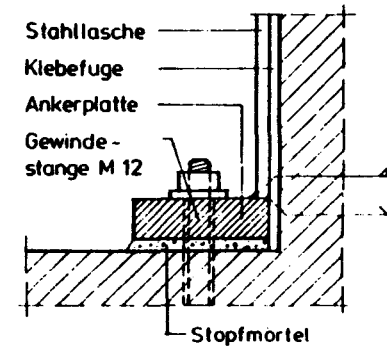
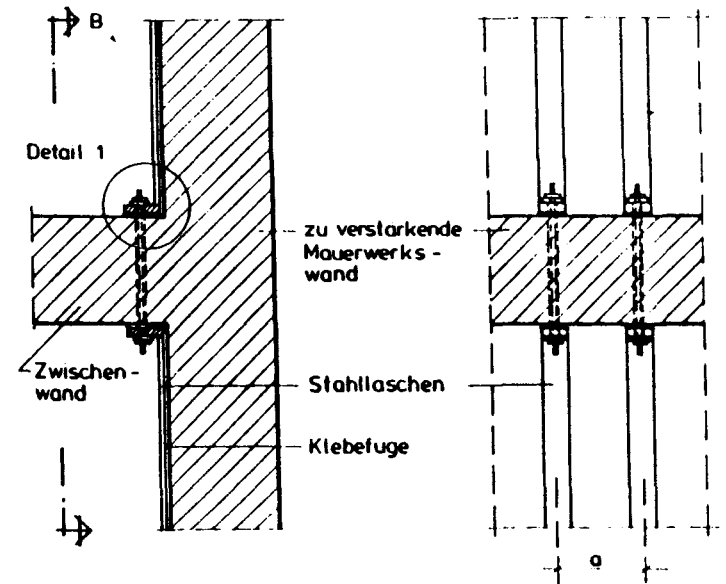


**Bild 12:** Konstruktionsvorschlag zur nachträglichen Ertüchtigung gemauelter Wände durch aufgeklebte Stahl-  
laschen  
- vergl. Abschnitt 6.2.2 -

Anlage: 6  
Blatt: -  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



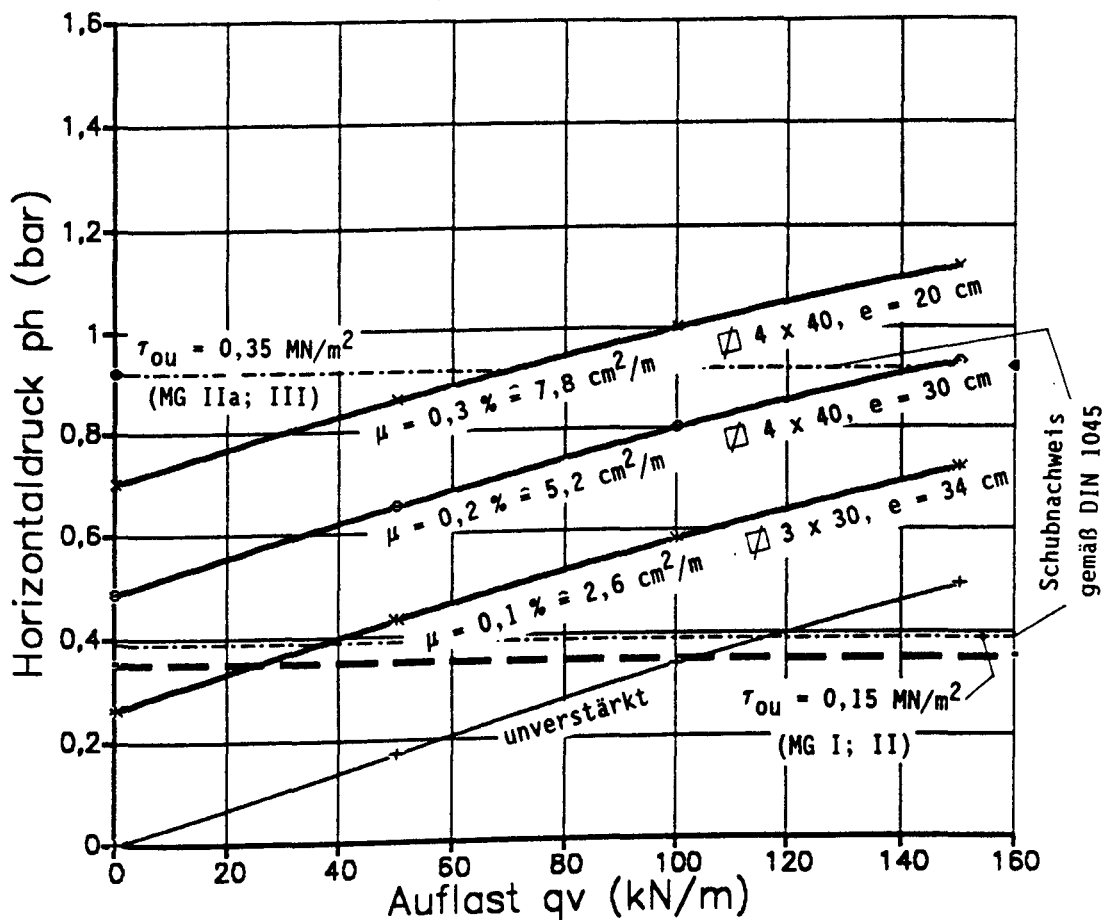
Laschenverankerung in Stahlbetondecke  
Anschluß an Sohlplatte wie an Stahl-  
betondecke ausführen  
(Laschenverlauf senkrecht)



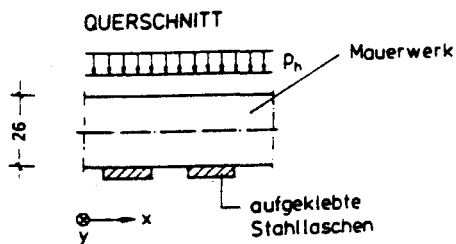
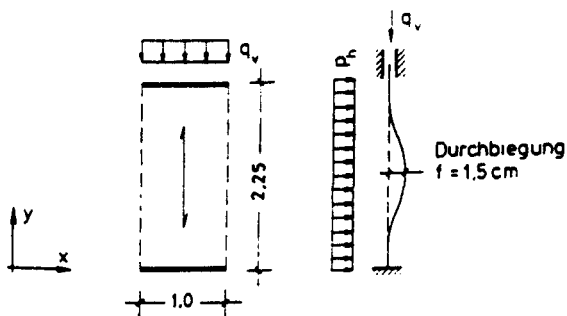
Detail 1

Schweißarbeiten  
vor Montage  
durchführen

Laschenverankerung an  
Zwischenwänden  
(Laschenverlauf waagrecht)



System:



#### Materialangaben:

#### Mauerwerk:

$$B_{D,mw} = 5,0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$$

#### Laschen:

$$\text{St 37}$$

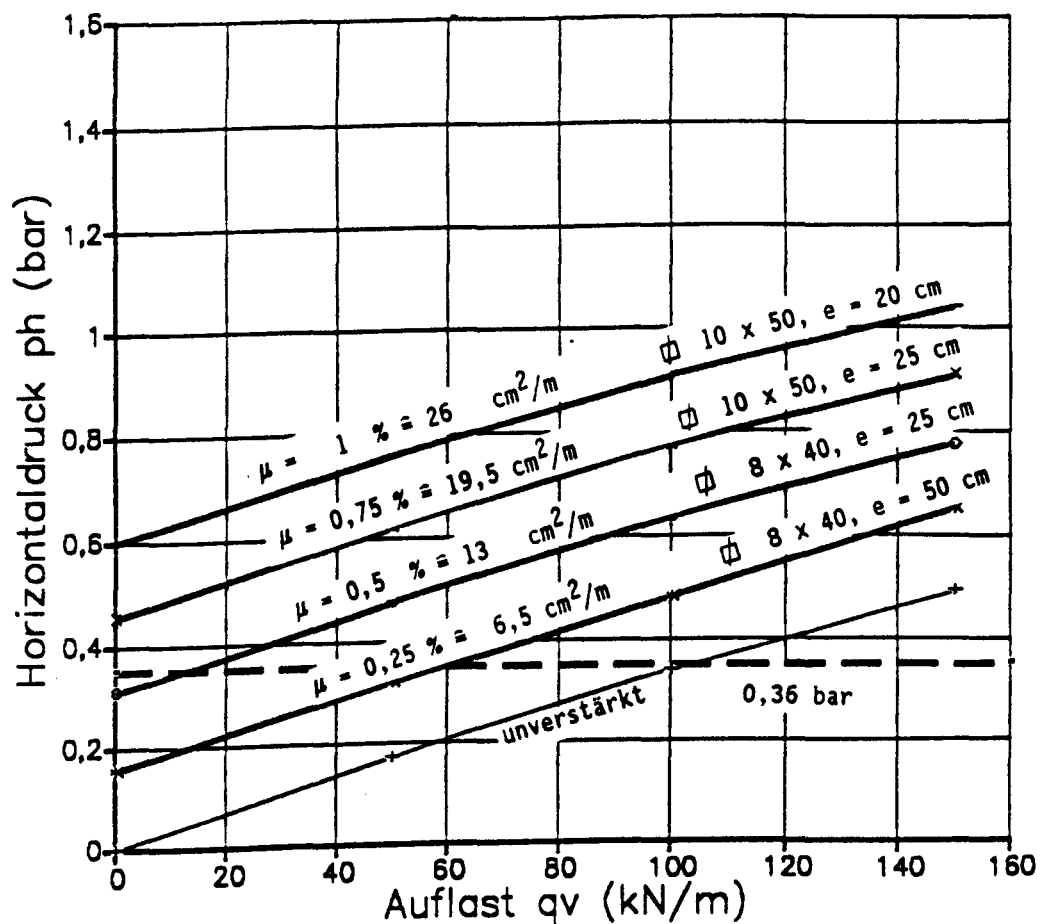
$$B_s = 240 \text{ MN/m}^2$$

$$E = 210000 \text{ MN/m}^2$$

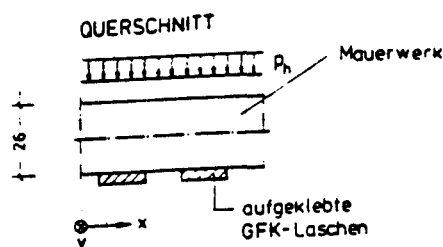
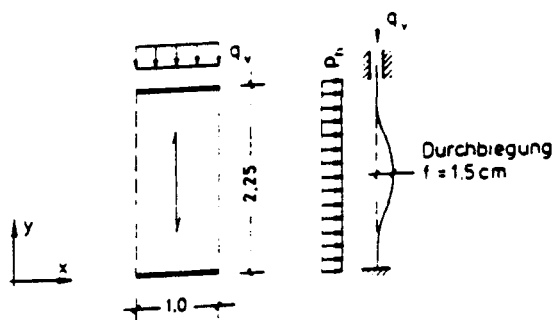
Dehnungsbegrenzung: 2 ‰

**Bild 13:** Traglasten durch aufgeklebte Stahllaschen ertüchtigter Mauerwerkswände  
- vergl. Abschnitt 6.2.2 -

Anlage: 7  
Blatt: 1  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



System:



#### Materialangaben:

#### Mauerwerk:

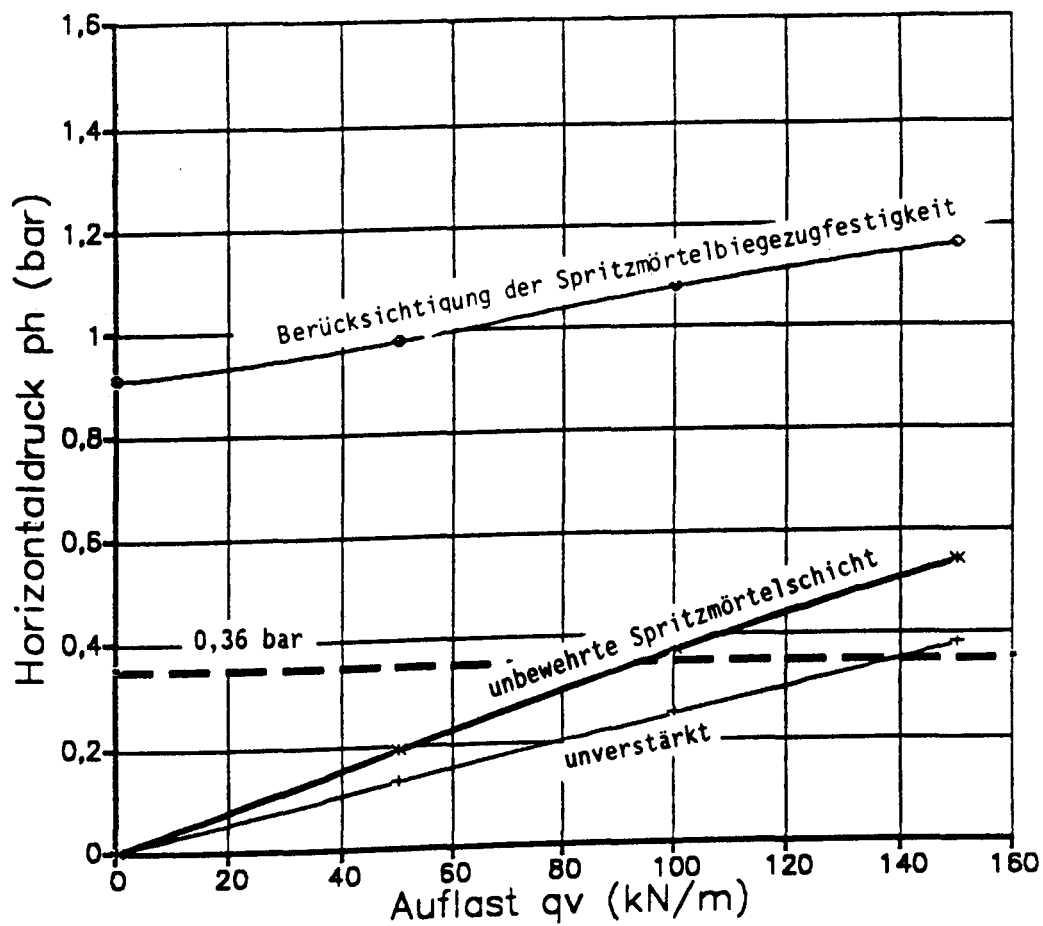
$B_{D,mw} = 5.0 \text{ MN/m}^2$   
 $E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$

#### Laschen:

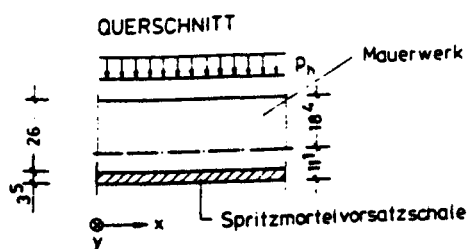
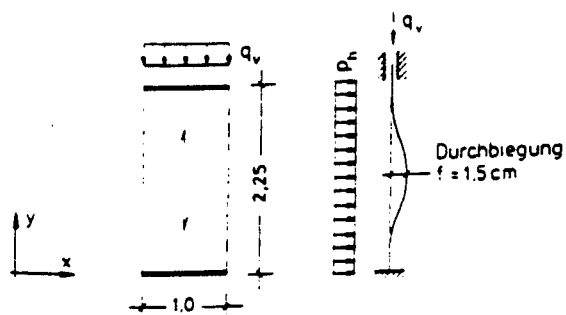
GFK  
 $\sigma_{Z,L} = 60 \text{ MN/m}^2$   
 $E_L = 30000 \text{ MN/m}^2$   
 Dehnungsbegrenzung: 2 ‰

**Bild 14:** Traglasten durch aufgeklebte GFK-Laschen ertüchtigter Mauerwerkswände  
 - vergl. Abschnitt 6.2.2 -

Anlage: 7  
 Blatt: 2  
 zum Untersuchungs-  
 bericht  
 Nr. B17-810788-7



System:



Materialangaben:

Mauerwerk:

$$B_{D,mw} = 5,0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$$

Spritzmörtel:

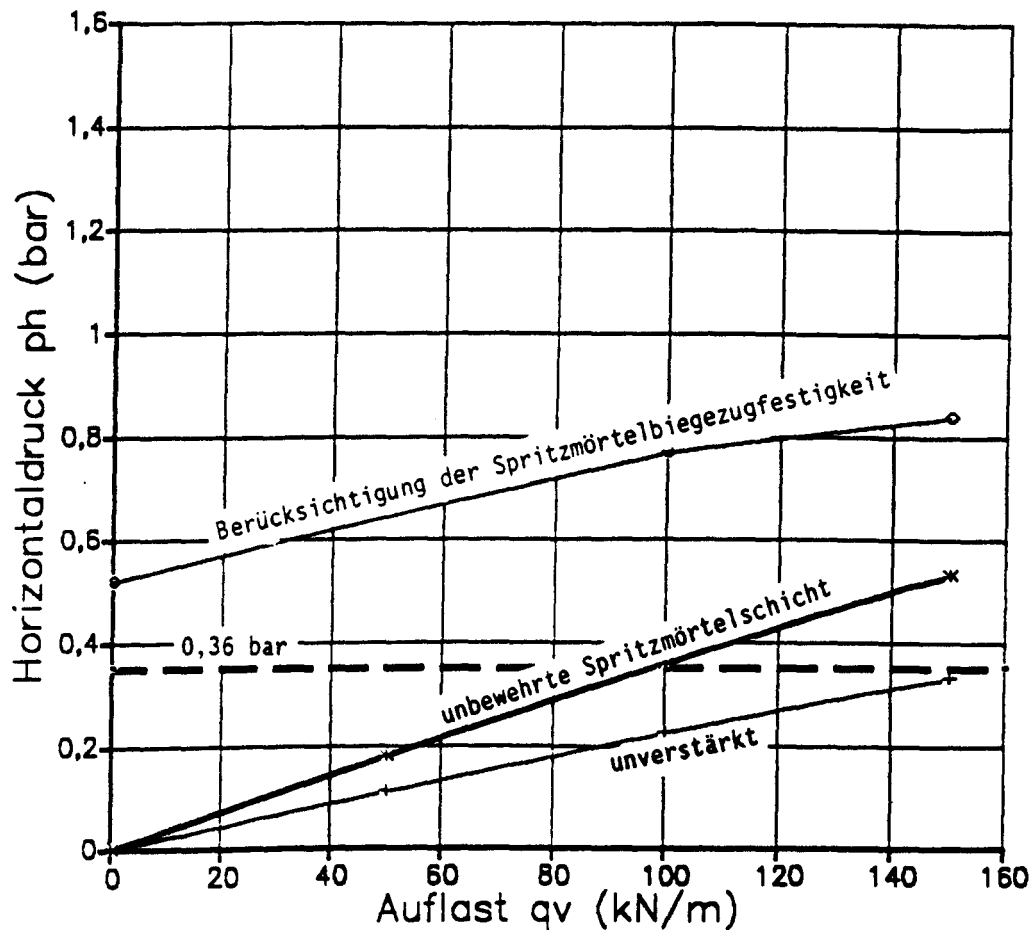
$$B_{D,Sp} = 37,0 \text{ MN/m}^2$$

$$B_{bz,Sp} = 7,7 \text{ MN/m}^2$$

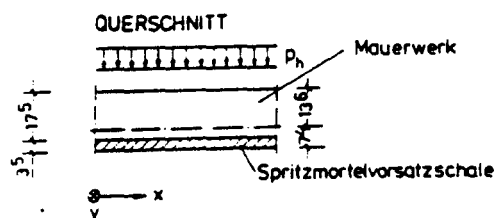
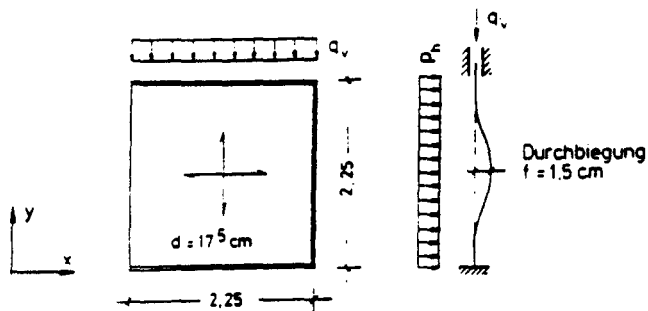
$$E_{Sp} = 21400 \text{ MN/m}^2$$

**Bild 15:** Traglasten durch unbewehrte Vorsatzschalen aus Spritzmörtel ertüchtigter Mauerwerkswände  
- vergl. Abschnitt 6.2.3 -

Anlage: 8  
Blatt: -  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



System:



Materialangaben:

Mauerwerk:

$$B_{D,mw} = 5,0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$$

Spritzmörtel:

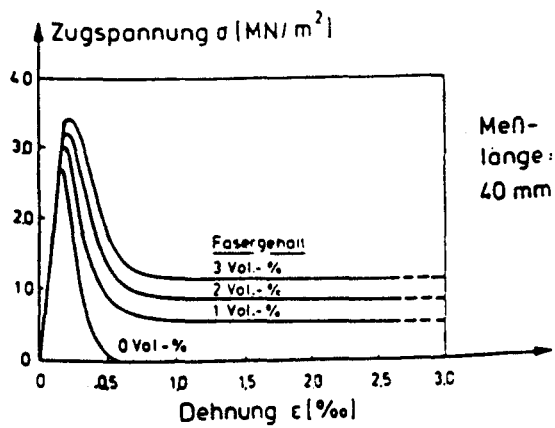
$$B_{D,Sp} = 37,0 \text{ MN/m}^2$$

$$B_{bz,Sp} = 7,7 \text{ MN/m}^2$$

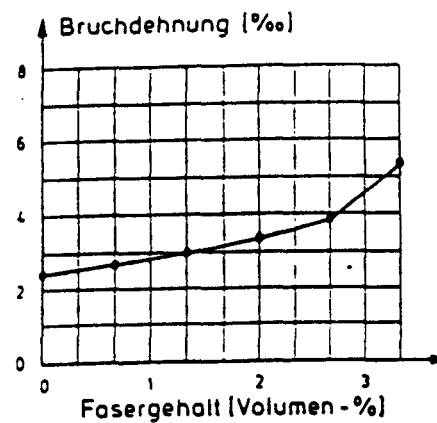
$$E_{Sp} = 21400 \text{ MN/m}^2$$

**Bild 16:** Traglasten durch unbewehrte Vorsatzschalen aus Spritzmörtel ertüchtigter, kreuzweise lastabtragender Mauerwerkswände  
- vergl. Abschnitt 6.2.3 -

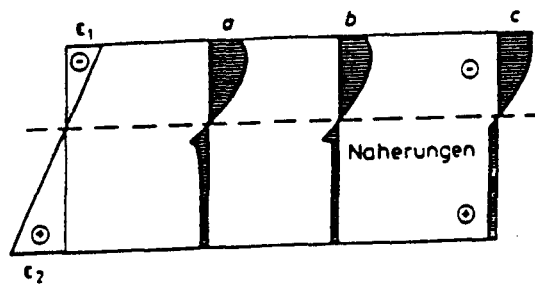
Anlage: 9  
Blatt: -  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



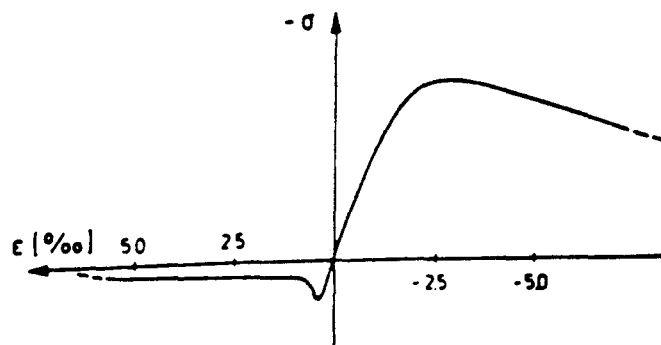
Aufnehmbare Beanspruchung in Abhängigkeit von der Dehnung



Bruchdehnung in Abhängigkeit vom Fasergehalt  
Fasern  $l = 25$  mm,  $d = 0.4$  mm



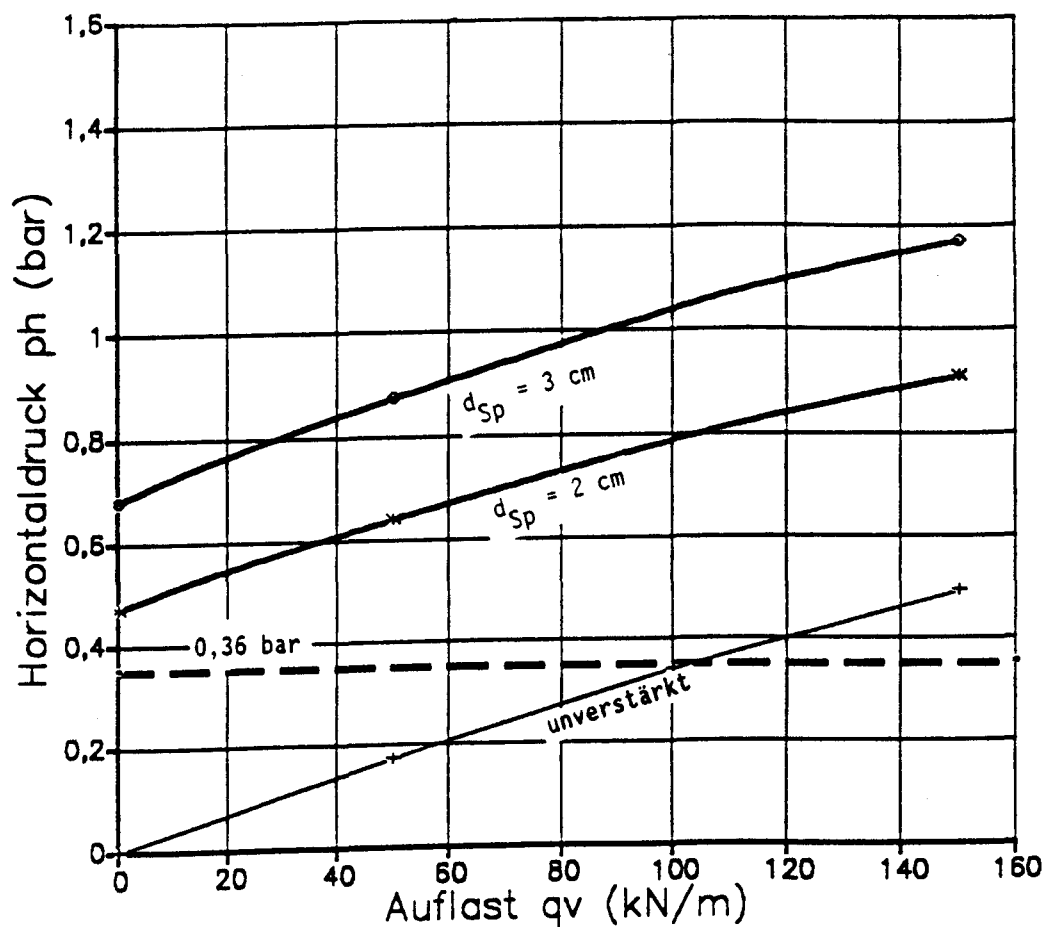
Spannungsverteilung in einem biegebeanspruchten Querschnitt



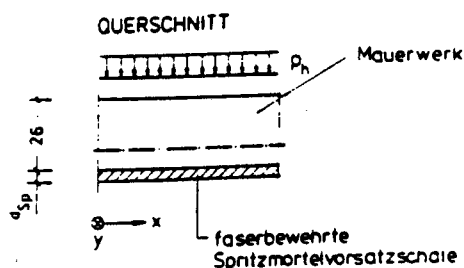
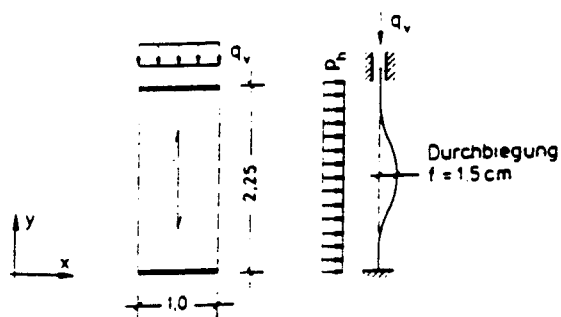
Exemplarische Spannungsdehnungslinie für einachsigen Zug und Druck

**Bild 17:** Werkstoffverhalten mit Faserzusätzen versehener Betone  
- vergl. Abschnitt 6.2.4 -

Anlage: 10  
Blatt: -  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



System:



Materialangaben:

Mauerwerk:

$$B_{D,mw} = 5,0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$$

Spritzmörtel:

$$B_{D,Sp} = 37,0 \text{ MN/m}^2$$

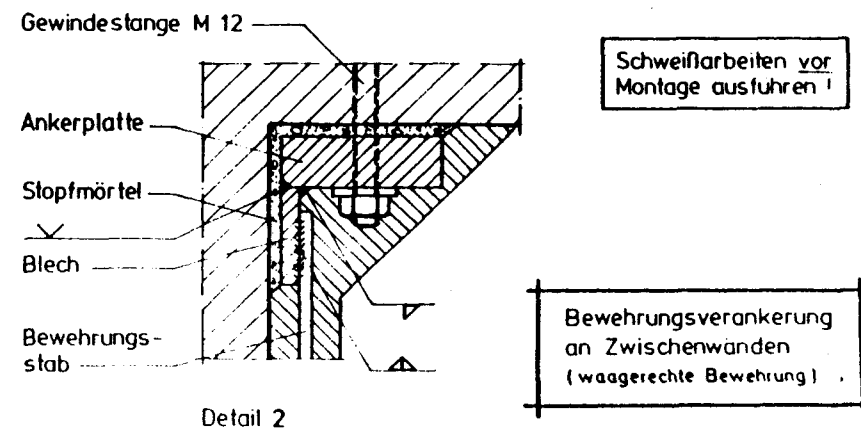
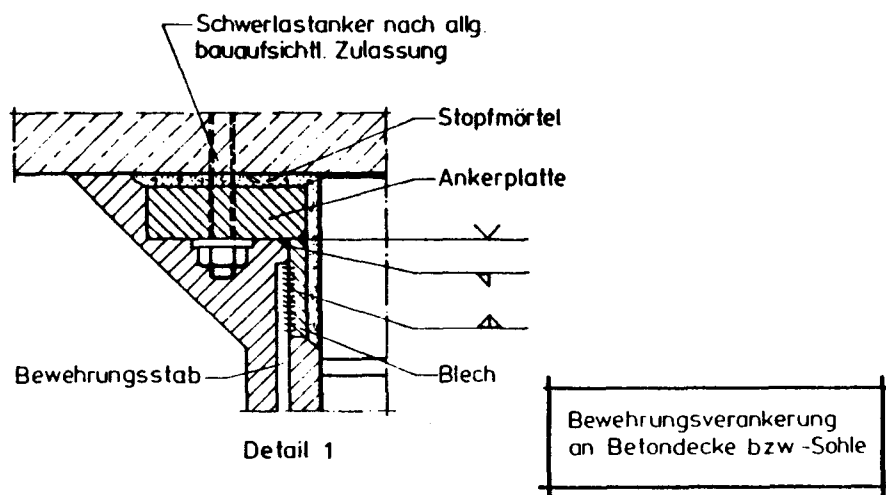
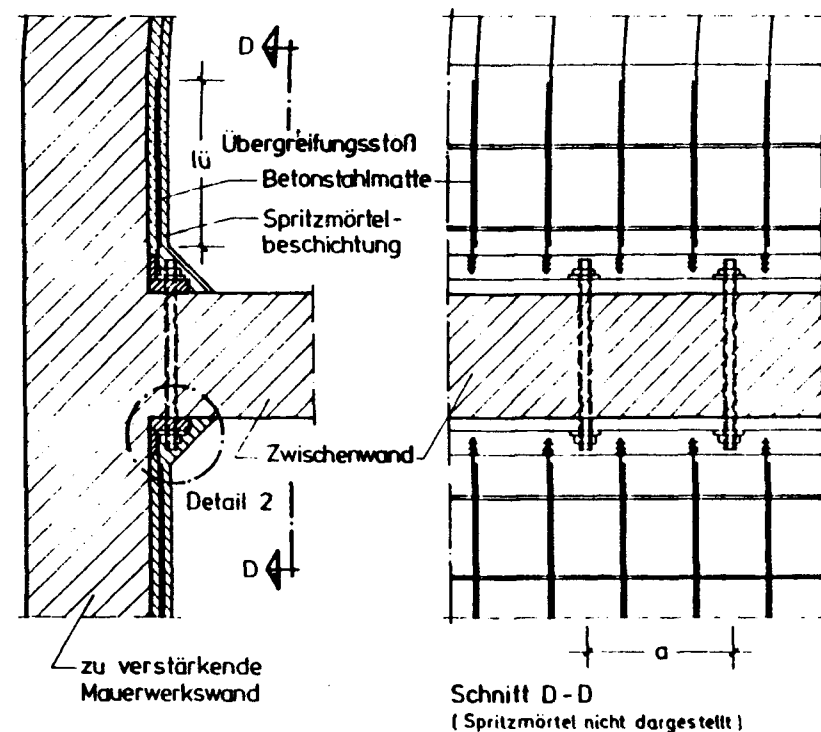
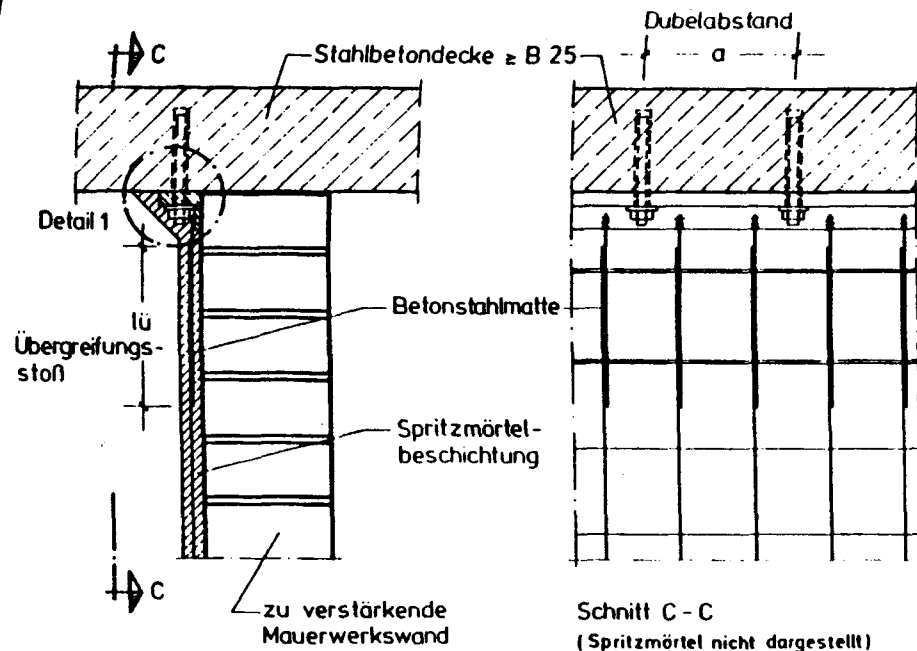
$$E_{Sp} = 21400 \text{ MN/m}^2$$

$$B_{Z,Sp} = 6 \text{ MN/m}^2$$

**Bild 18:** Traglasten durch faserbewehrte Vorsatzschalen er-  
tuchtigter Mauerwerkswände  
- vergl. Abschnitt 6.2.4 -

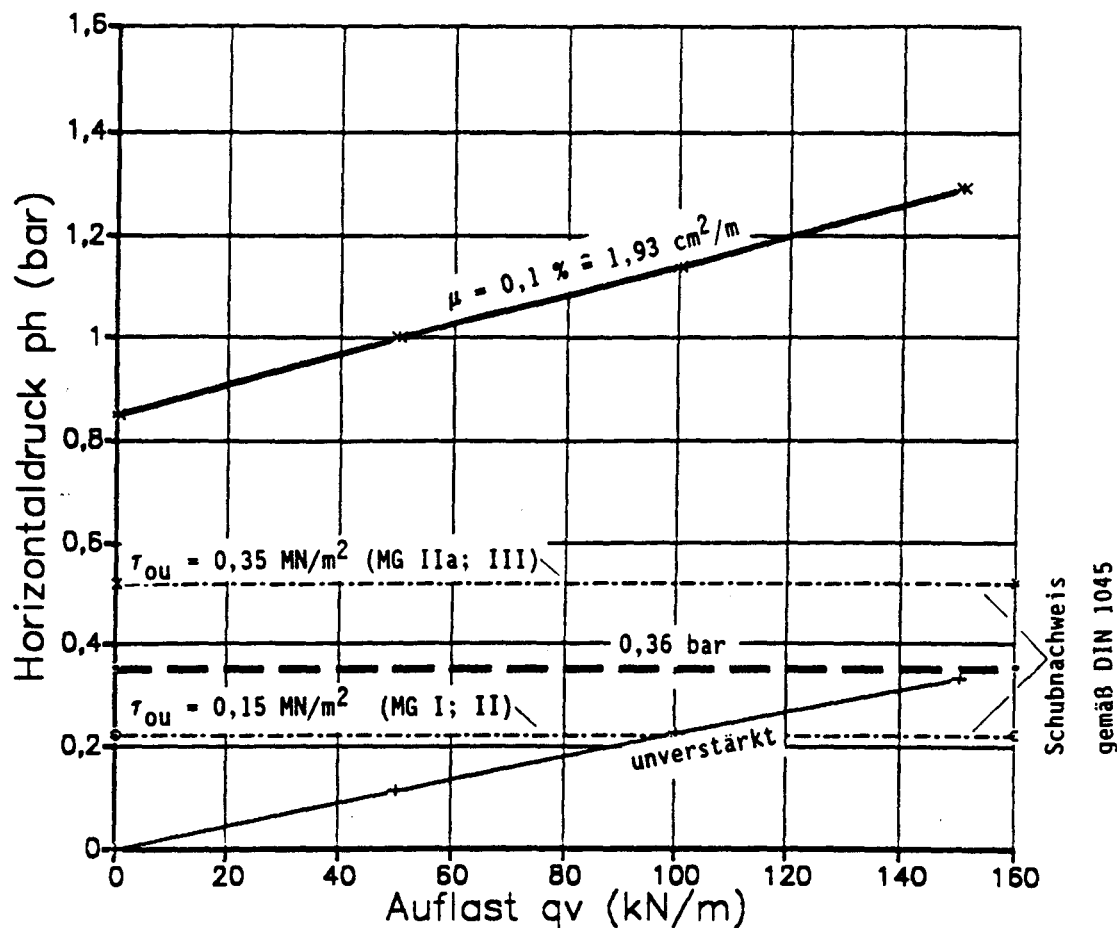
Anlage: 11  
Blatt: -  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7

**Bild 19:** Konstruktionsvorschlag zur nachträglichen Ertüchtigung gemauerter Wände mittels betonstahlmattenbewehrter Vorsatzschalen aus Spritzmörtel - vergl. Abschnitt 6.2.5 -

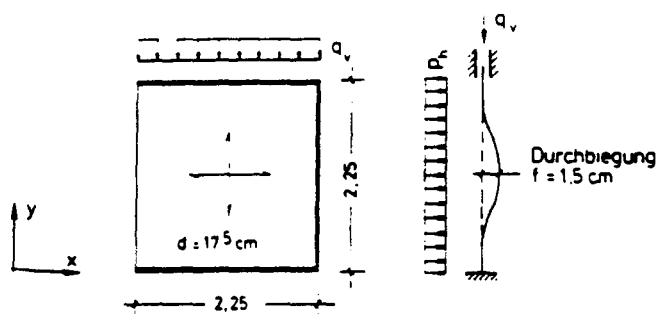








System:



Materialangaben:

Mauerwerk:

$$B_{D,mw} = 5.0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$$

Spritzmörtel:

$$B_{D,Sp} = 37.0 \text{ MN/m}^2$$

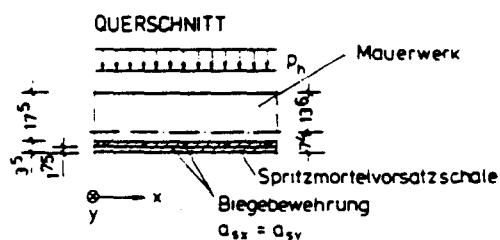
$$E_{Sp} = 21400 \text{ MN/m}^2$$

Bewehrung:

$$\text{Betonstahl BSt 500 M}$$

$$B_s = 500 \text{ MN/m}^2$$

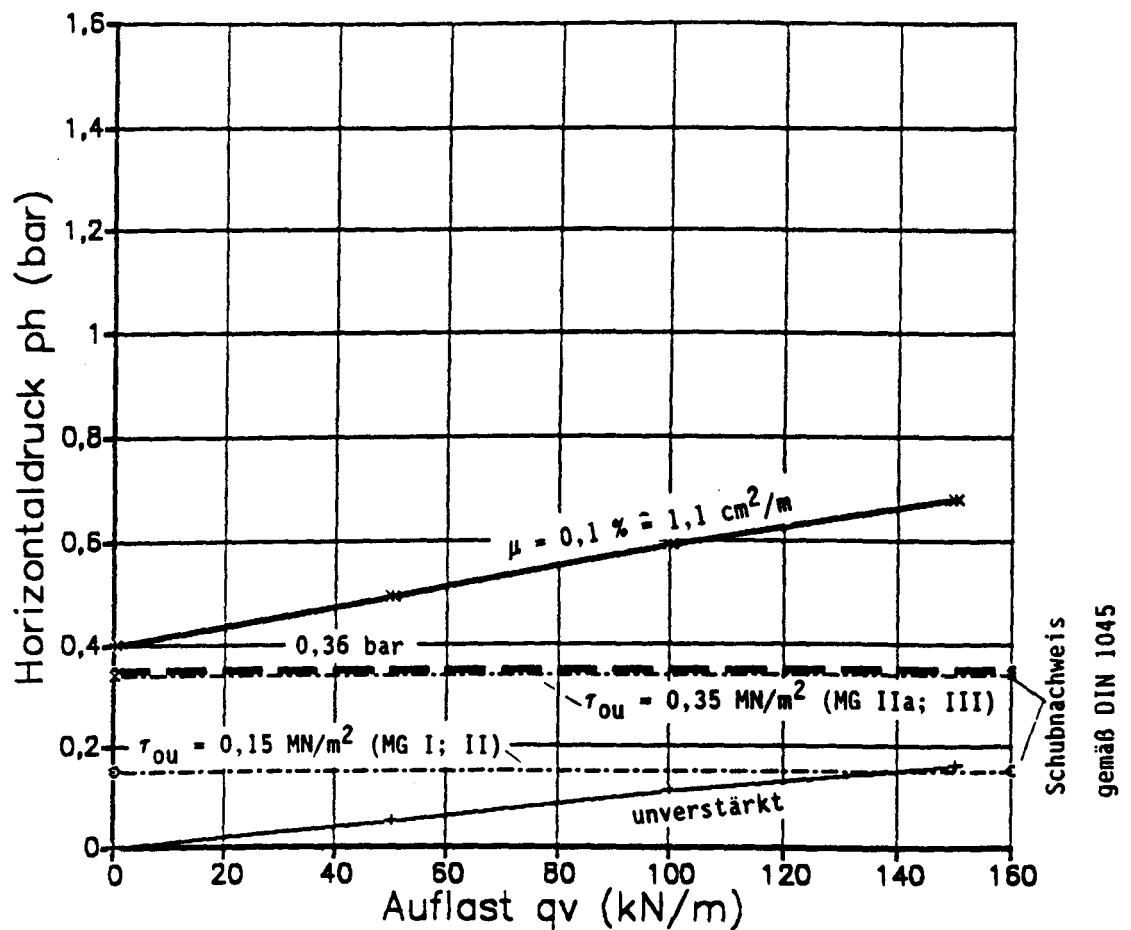
$$E = 210000 \text{ MN/m}^2$$



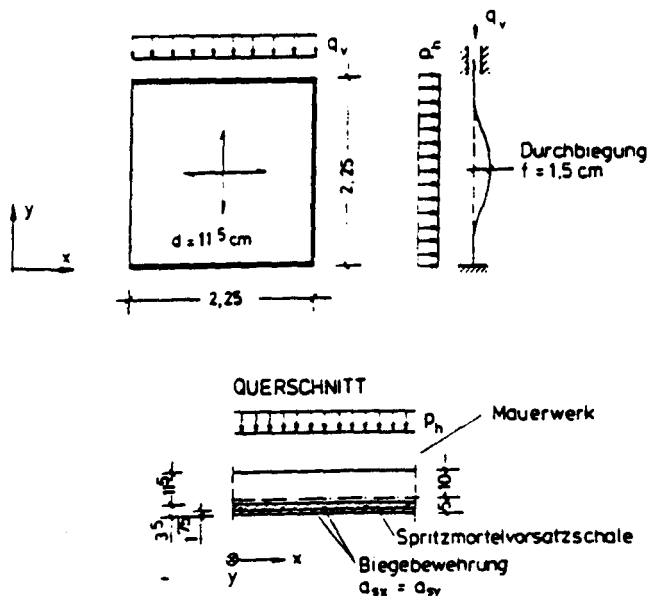
$$\mu = \frac{a_s}{h} \cdot 100 [\%]$$

**Bild 21:** Traglasten kreuzweise lastabtragender Mauerwerks-  
wände ( $d = 17.5 \text{ cm}$ ) - ertüchtigt durch betonstahl-  
mattenbewehrte Vorsatzschalen  
- vergl. Abschnitt 6.2.5 -

Anlage: 12  
Blatt: 3  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



System:



Materialangaben:

Mauerwerk:

$$B_{D,mw} = 5.0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$$

Spritzmörtel:

$$B_{D,Sp} = 37.0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{Sp} = 21400 \text{ MN/m}^2$$

Bewehrung:

Betonstahl BSt 500 M

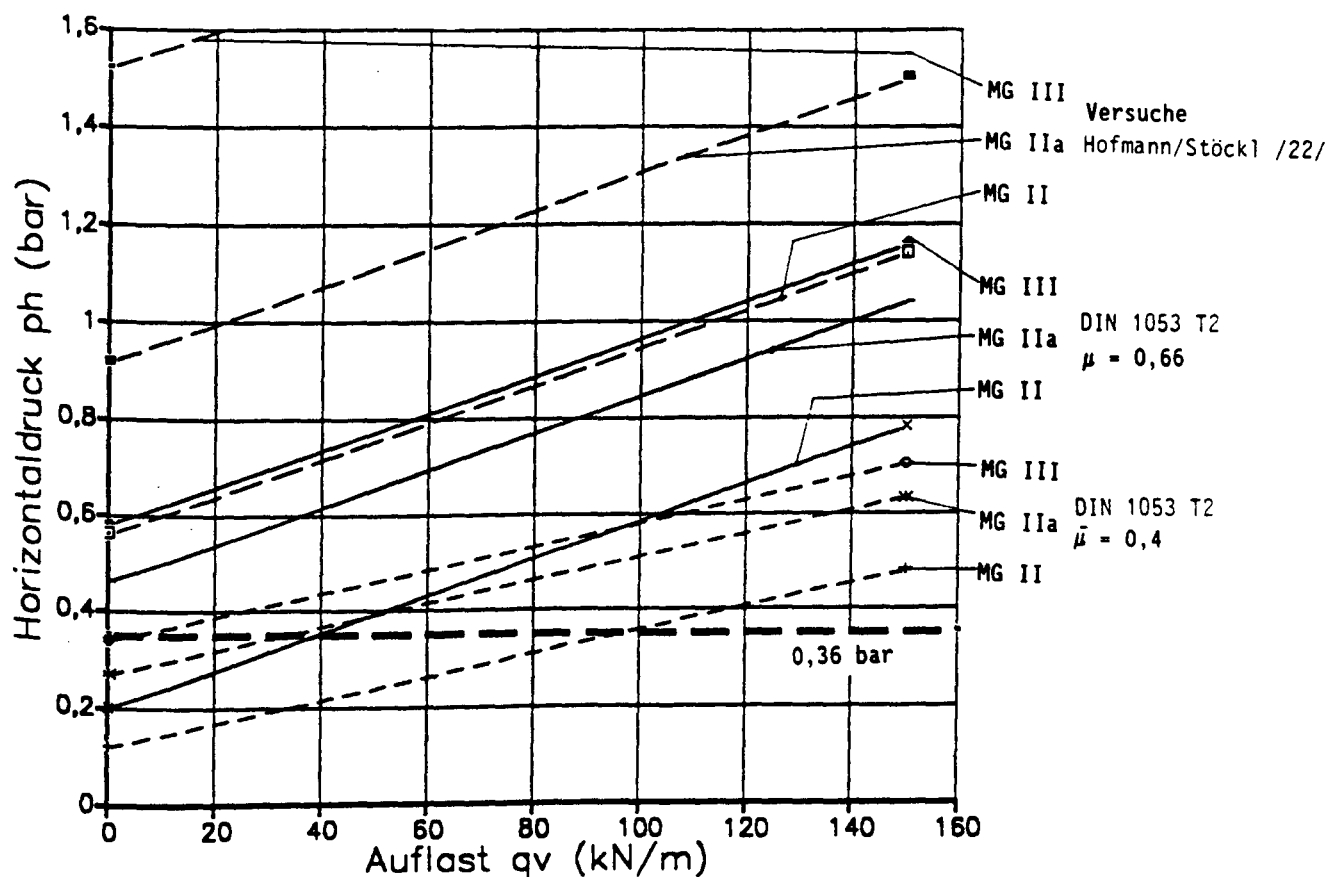
$$B_s = 500 \text{ MN/m}^2$$

$$E = 210000 \text{ MN/m}^2$$

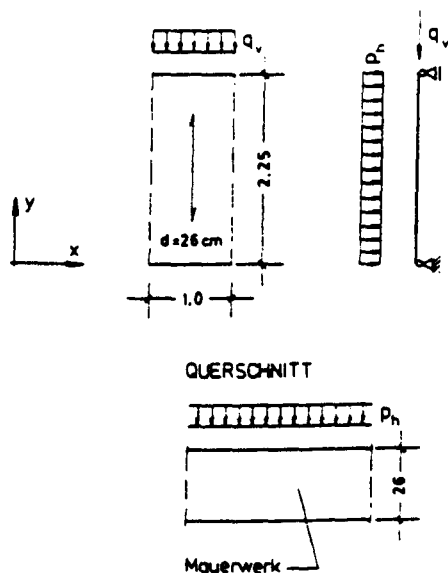
$$\mu = \frac{a_s}{h} \cdot 100 [\%]$$

**Bild 22:** Traglasten kreuzweise lastabtragender Mauerwerks-  
wände ( $d = 11.5 \text{ cm}$ ) - ertüchtigt durch  
betonstahlmattenbewehrte Vorsatzschalen  
- vergl. Abschnitt 6.2.5 -

Anlage: 12  
Blatt: 4  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



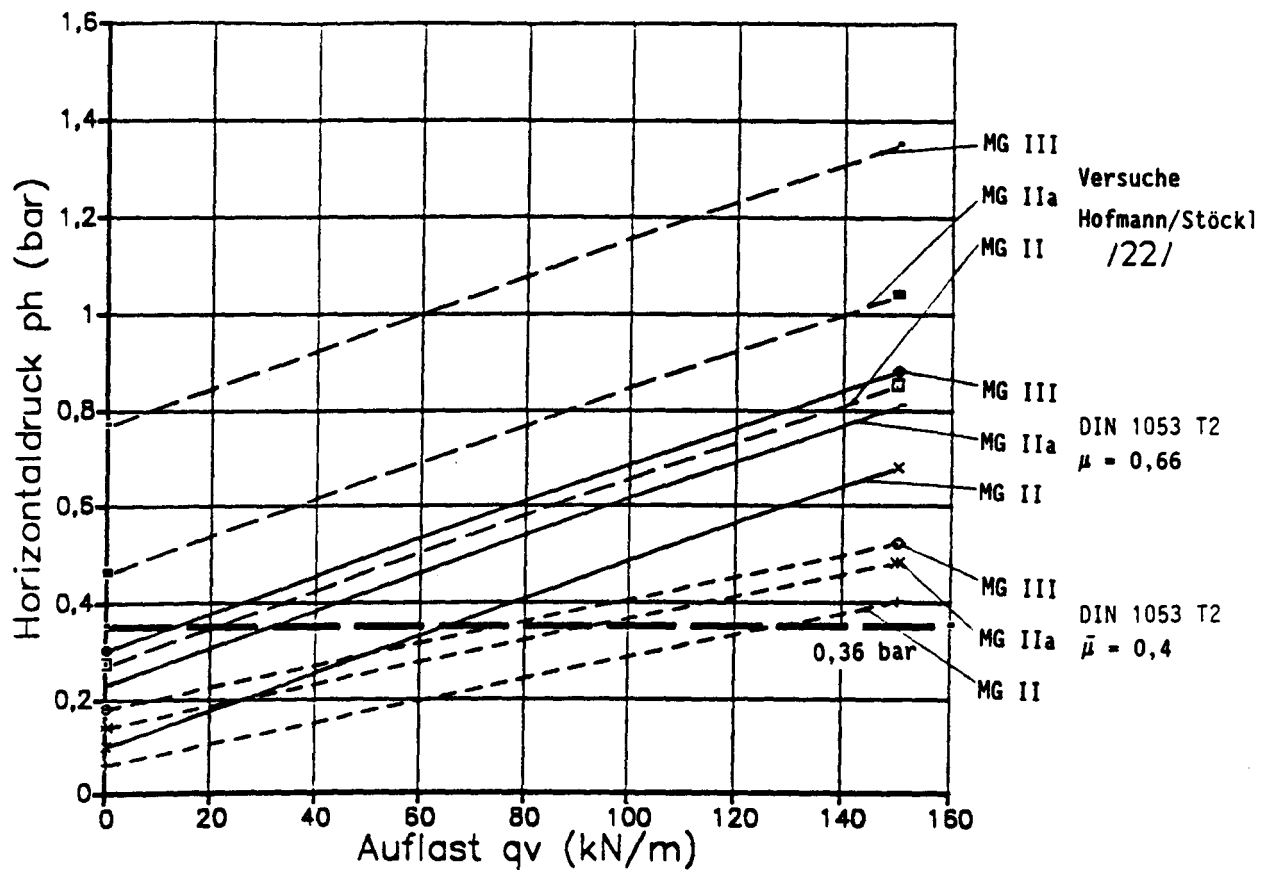
System:



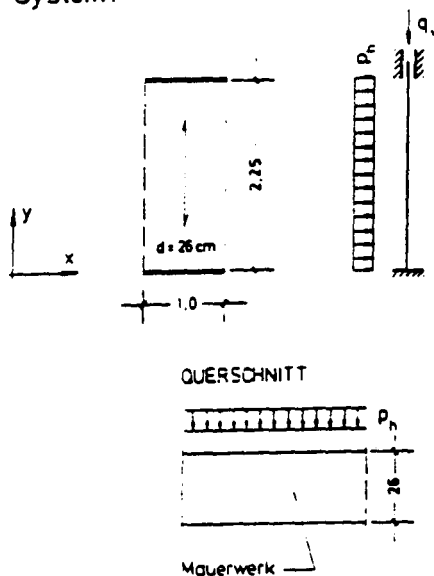
	KOHÄSIONSSPANNUNG $\beta_K$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	DIN 1053 Teil 2, Juli 1984	Untersuchungen von Hofmann/Stöckl /22/	
Mörtel- gruppe	Reibungsbeiwerte		
	$\bar{\mu} = 0,44$	$\mu = 0,66$	$\mu = 0,66$
II	0,08	0,13	0,36
IIa	0,18	0,30	0,60
III	0,22	0,37	1,00

**Bild 23:** Traglasten nicht ertüchtigter, gelenkig gelagerter Mauerwerkswände bei Variation rechnerisch angenommener Schubspannungsgrenzen - vergl. Abschnitt 6.4.1 -

Anlage: 13  
Blatt: 1  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



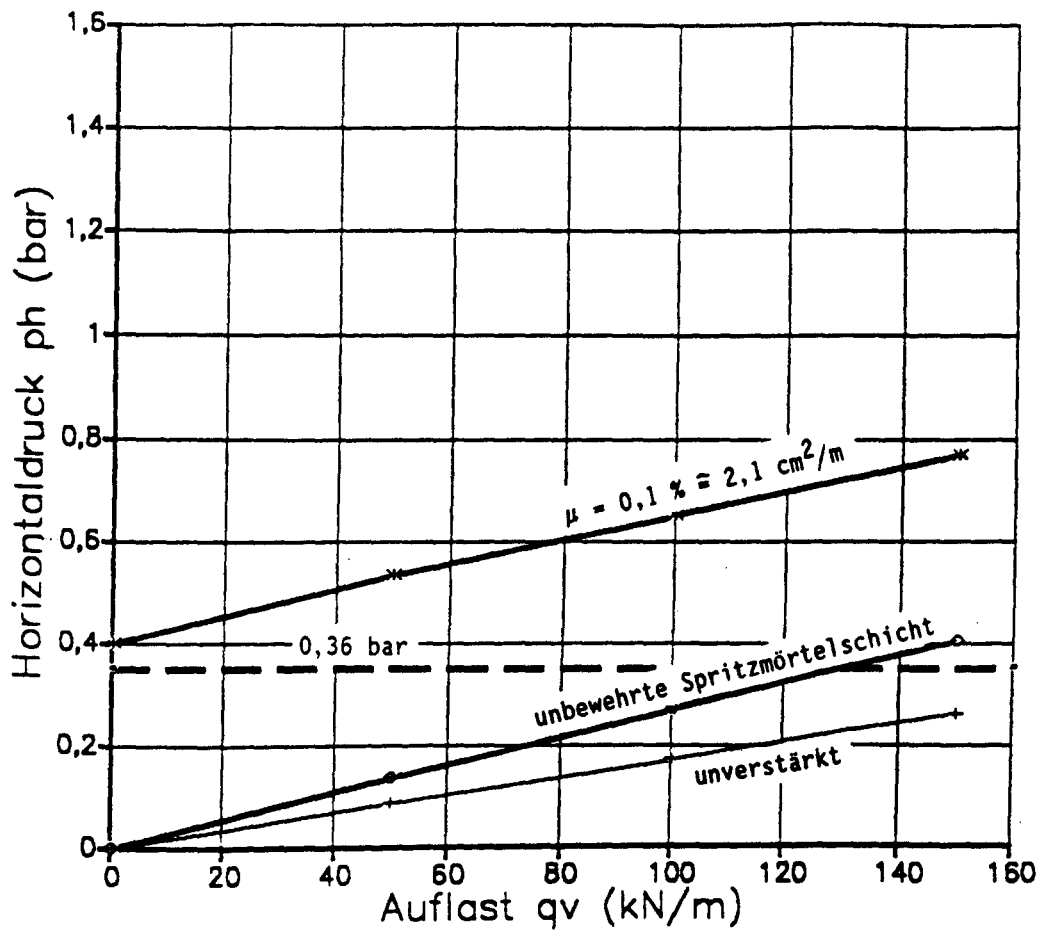
System:



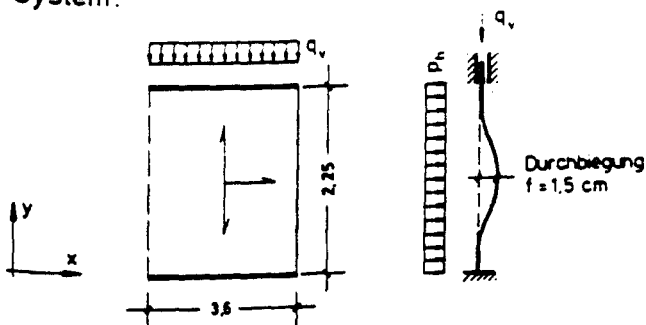
	KOHÄSIONSSPANNUNG $\sigma_K$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	DIN 1053 Teil 2, Juli 1984	Untersuchungen von Hofmann/Stöckl /22/	
Mörtel- gruppe	Reibungsbeiwerte		
	$\bar{\mu} = 0.44$	$\mu = 0.66$	$\mu = 0.66$
II	0.08	0.13	0.36
IIa	0.18	0.30	0.60
III	0.22	0.37	1.00

**Bild 24:** Traglasten nicht ertüchtigter Mauerwerkswände mit Kopf- und Fußbeanspruchung bei Variation rechnerisch angenommener Schubspannungsgrenzen  
- vergl. Abschnitt 6.4.1 -

Anlage: 13  
Blatt: 2  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



System:



Durchbiegung  $f = 1.5 \text{ cm}$

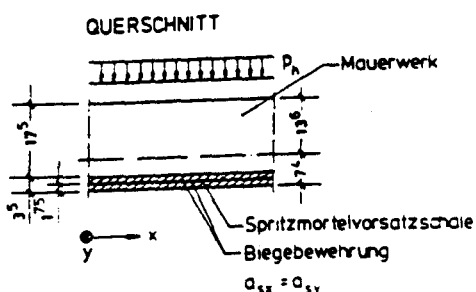
Materialangaben:

Spritzmörtel:

Bewehrung:

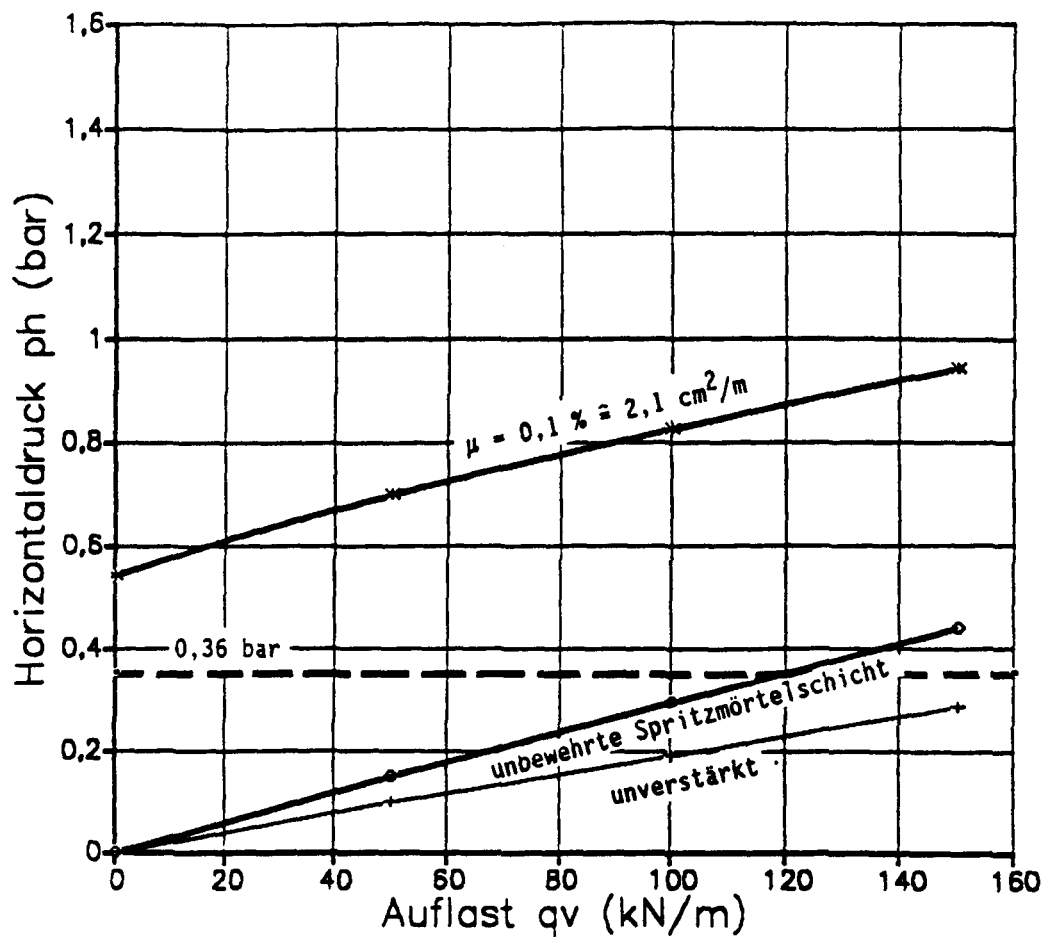
$B_{D,mw}$	=	5,0 MN/m <sup>2</sup>
$E_{mw}$	=	5000 MN/m <sup>2</sup>
$B_{D,Sp}$	=	37,0 MN/m <sup>2</sup>
$B_{bz,Sp}$	=	7,7 MN/m <sup>2</sup>
$E_{Sp}$	=	21400 MN/m <sup>2</sup>
Betonstahl BSt 500 M		
$B_s$	=	500 MN/m <sup>2</sup>
$E$	=	210000 MN/m <sup>2</sup>

$$\mu = \frac{a_s}{h} \cdot 100 [\%]$$

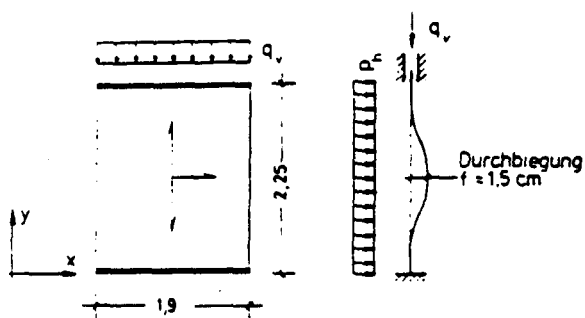


**Bild 25:** Traglasten ertüchtigter, dreiseitig gelagerter Mauerwerkswände,  $\varepsilon = l/h = 1,6$   
- vergl. Abschnitt 6.5 -

Anlage: 14  
Blatt: 1  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



System:



#### Materialangaben:

##### Mauerwerk:

$$B_{D,mw} = 5,0 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{mw} = 5000 \text{ MN/m}^2$$

##### Spritzmörtel:

$$B_{D,Sp} = 37,0 \text{ MN/m}^2$$

$$B_{bz,Sp} = 7,7 \text{ MN/m}^2$$

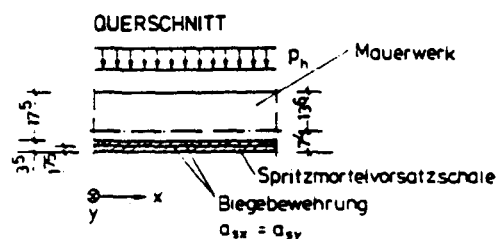
$$E_{Sp} = 21400 \text{ MN/m}^2$$

##### Bewehrung:

$$\text{Betonstahl BSt 500 M}$$

$$B_s = 500 \text{ MN/m}^2$$

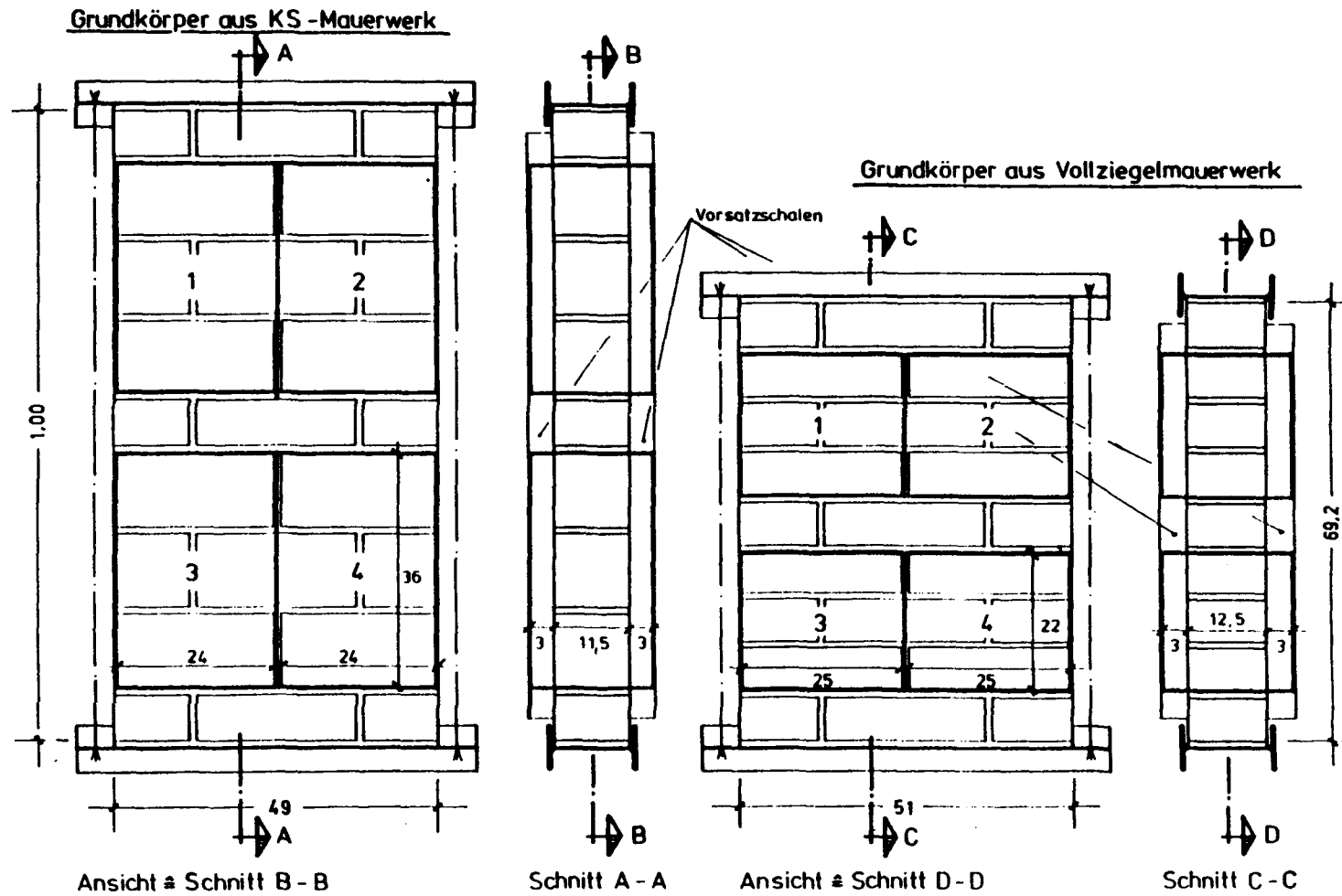
$$E = 210000 \text{ MN/m}^2$$



$$\mu = \frac{a_s}{h} \cdot 100 [\%]$$

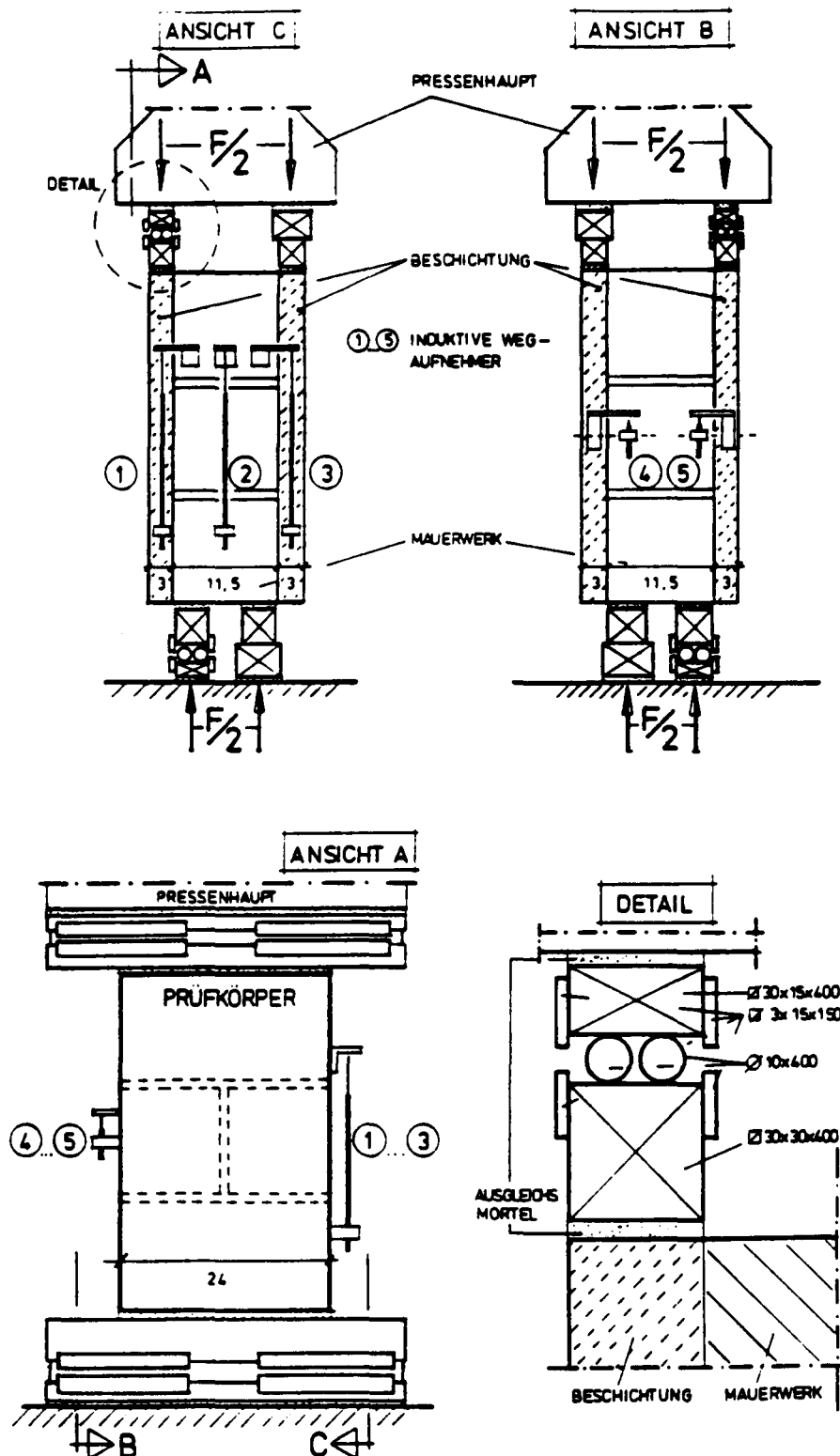
**Bild 26:** Traglasten ertüchtigter, dreiseitig gelagerter Mauerwerkswände,  $\varepsilon = 1/h = 0,84$   
- vergl. Abschnitt 6.5 -

Anlage: 14  
Blatt: 2  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7



1...4 Probekörper zur Ermittlung der Haftscherfestigkeit

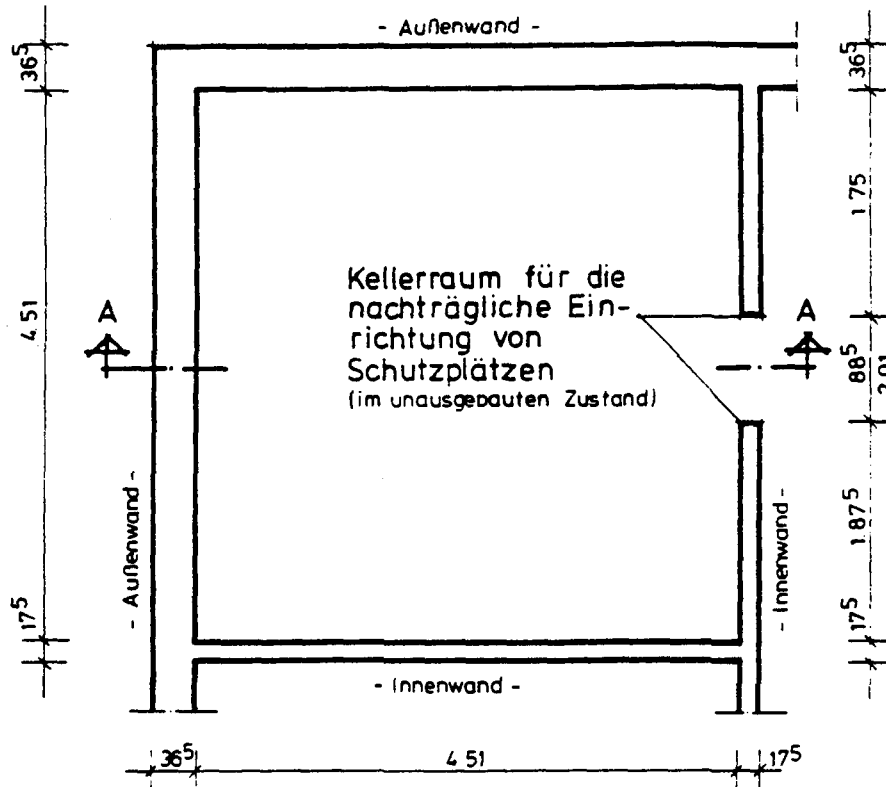




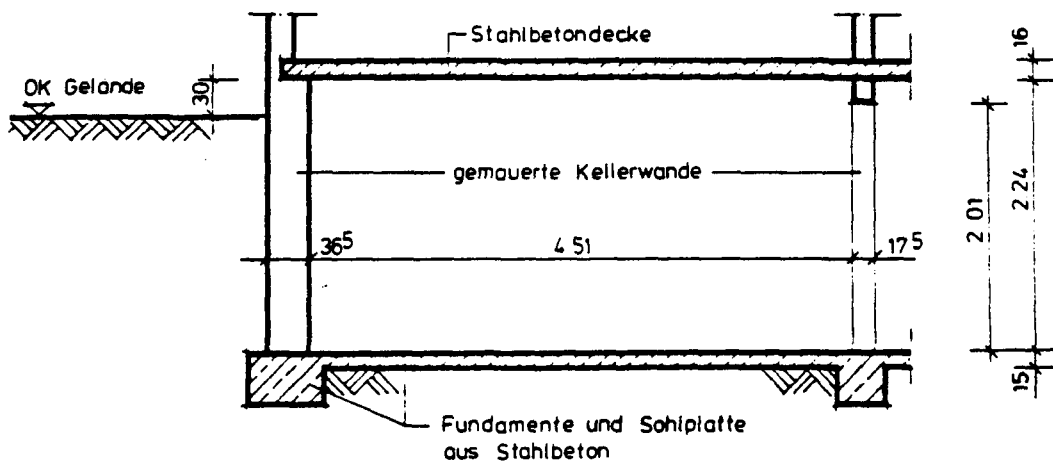
**Bild 28:** Versuchsanordnung zur Prüfung der Haftscherfestigkeit  
- vergl. Abschnitt 7.3 -

Anlage: 15  
Blatt: 2  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7

## Grundriß



## Schnitt A-A



**Bild 29:** Darstellung eines als typisch angenommenen Kellerraumes mit zu ertüchtigenden Umfassungsbauteilen - vergl. Abschnitt 8.0 -

Anlage: 16  
Blatt: -  
zum Untersuchungs-  
bericht  
Nr. B17-810788-7